

# KONVEKCIÓ HENGERES TALAJ RENDSZEREK BEN

## CONVECTION IN CYLINDRICAL SOIL SYSTEMS

Nagy Norbert\*, Gyarmati Bernadett\*\*, Dr. Mészáros Csaba\*\*\*,  
Dr. Klaus Gottschalk\*\*\*\*, Dr. Bálint Ágnes\*\*\*\*\*

### ABSTRACT

*The aim of the investigation was to study the convection in cylindrical soil systems; hence a new experimental system was designed.*

*Three soil column experiments were made 48 hours with two different soil types, respectively. The soils were prepared on different manner: one of them was in original form, then, the same soil column was saturated by water and the third one (different soil type) was frozen before the IR radiation.*

*Then, the surface of the core was exposed to infra-red radiation with a 12 hours periodicity, by which the Sun cycle was simulated. The temperature and moisture changes were followed along the sampling ports and on the soil surface during the 48 hours of the experiments. The fluctuations of air moisture content and temperature were measured in the air, too.*

*One sample had a height of 200 mm and its diameter was 180mm. Sensors were installed at the depth of 60mm, 120mm and 180mm. The experiment was carried out in a closed and isolated box to prevent the system from external disturbances. The data logging was done by Almemo 2980-9-measuring instrument and AMR transferring program was used to import the data to PC.*

### 1. BEVEZETÉS

Gyakorlati szempontból a hőenergia áramlás a talaj és a közvetlen felette elhelyezkedő légréteg között döntő jelentőségű, akár egy mezőgazdasági művelés alatt álló terület mikroklímájáról [1] vagy egy épület passzív hűtő/fűtő rendszeréről legyen szó [2].

A konvekció leggyakoribb esetekben hőmérséklet gradienssel gerjesztett áramlás, ami egy olyan tipikusan nemegyensúlyi folyamat, amely térben és időben inhomogén anyageloszláshoz vezet, ennek eredményeképpen több esetben periodikusan ismétlődő mintázat alakulhat ki [3,4].

Ez a termodinamikai folyamat jól megfigyelhető fagymintás talajok kialakulása esetében, ahol elsősorban szabad konvekcióról beszélünk [5].

Az energiahordozó közeg ez esetben a víz, amelynek azon tulajdonsága, hogy sűrűsége +4 Celsius fokon éri el a maximumot, közvetetten instabilitást okoz a fagyott talajrendszerben. Tehát az olvadó talajban ezért a következő folyamat játszódik le: a napsütés hatására megolvadt talajnedvesség sűrűbb és ezáltal nehezebb az alatta elhelyezkedő vízrétegnél, ezért alásüllyed. Eközben újra lehűl, amely újabb sűrűségváltozáshoz vezet és újabb instabilitást okoz a fagyott talajrendszerben, s amely ezáltal kvázifolytonosan cirkuláló cellákat hoz létre. Így a konvekció a talaj fagyhatáron lévő felszínét alakítja, mely réteg a konvekciós cellák alakját tükrözve barázdálódásnak indul.

A talaj feletti légtérben a levegő a hőenergiát hordozó közeg, s így a kialakuló konvekciós légáramlatok sok esetben a levegő aeroszoltartalmának növekedéséhez járulnak hozzá [6], mivel a talaj nagymennyiségben képes finom szemcsék kibocsátására.

Ez környezetvédelmi szempontból igen fontos makroszkopikus fizikai folyamat, s ezért a talaj/levegő rendszerben zajló konvekció tanulmányozása az anyagáramlási probléma megértésében játszik fontos szerepet.

Ennek szellemében terveztük meg kísérletünket, amelynek célja a konvekció tanulmányozása talajoszlópokban és a felettük elhelyezkedő légtérben. Jelen dolgozatban csak a talajoszlópban kialakuló folyamatokhoz kapcsolódó mérések eredményeit közöljük.

### 2. A TALAJOSZLOP KÍSÉRLET

#### 2.1. A kísérlet célja és folyamata

Kísérleti szempontból a határfelületen történő hőátviteli vizsgálatok talaj esetén nehezen kivitelezhetőek a nagyságrendben kis fluxusok a mérési lehetőségekhez képesti pontossághoz képest és a nagy térbeli variabilitás miatt. Ezt figyelembe véve a kísérleti beállítás a következőképpen történt: eredeti szerkezetű, vízzel a maximális vízkapacitásig telített és telítés után fagyasztott talajoszlóp felszínét infravörös sugárzásnak tettük ki 12 órás periódusokban, ezzel szimulálva a napsugárzás alapciklusát. A vizsgálat célja a hőmérséklet-, ill. a nedvességtartalom-változás mérése a talaj különböző rétegeiben.

\* egyetemi hallgató, Szent István Egyetem Kémia és Biokémia Tanszék

\*\* PhD hallgató, Szent István Egyetem Kémia és Biokémia Tanszék

\*\*\* egyetemi docens, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék

\*\*\*\* laboratórium vezető, Leibniz Institut für Agrartechnik, Potsdam-Bornim

\*\*\*\*\* egyetemi docens, Szent István Egyetem Kémia és Biokémia Tanszék

## 2.2. Infravörös sugárzás

A Nap melegítő sugárzásának hatását infravörös sugárzást kibocsátó lámpával modelleztük. Az infravörös tartományban sugárzó lámpa az infravörös sugárzás 8 µm-től 15 µm-ig terjedő hullámhossz tartományát bocsátja ki, amely a távoli infravörös sugárzásnak (LWIR, IR-C) neveznek, nagyjából 80%-ban az útjába eső tárgyakat, 20%-ban a levegőt melegíti. A Nap 24 órás pályáját elhanyagoltuk, a lámpa rögzített pontból sugárzott, a hengeres talajoszlopok felszínére merőlegesen, amely felől a talaj mélyebb rétegei fokozatosan átmelegednek.

Az infralámpát 400 mm magasságban helyeztük el a talajfelszín felett. Az időzítőt 12 órás periódusokra állítottuk be. A négy 48 órás méréshez Philips Infrared R95E 100W lámpát használtunk.

## 2.3. A talajoszlopok és telítésük vízzel

A kísérletek során összesen 2 különböző típusú, kvázi-bolygatatlan talajmintát használtunk. A talajfelszíntől számítva mind a három talajoszlopnál 60 mm, 120 mm és 180 mm mélységben kör keresztmetszetű nyílásokat alakítottunk ki külön két oldalt a hőmérsékletmérő szenzoroknak és a talaj tenziométereknek.

Összesen három, egyenként 48 óráig tartó mérést végeztünk a 2 különböző típusú talajmintával. Különböző módon készítettük elő a talajokat:

- Első kísérlet: az „ORGANIC”-nak nevezett talajoszloppal (homoktalaj) eredeti állapotában, közvetlenül a mintavétel (Potsdamban az ATB Intézet mellett található folyó mellől) után kezdtük meg a kísérletet.
- Második kísérlet: szintén az „ORGANIC”-nak nevezett talajoszloppal kezdtük meg a méréseket, de ebben az esetben előzetesen vízzel telítettük a talajoszlopot.
- Harmadik kísérlet: előzetesen a „HUBA”-nak (barna erdőtalaj, Magyarország) nevezett talajoszlopot vízzel telítettük, majd még közvetlenül a mérést megelőzően 12 órás fagyasztásnak tettük ki.

A talajoszlopok vízzel történő telítéséhez (1. ábra) a közlekedő edények elvét vettük alapul azért, hogy a talaj struktúrájában lehetőleg minimális változást okozzunk (bár a talajminták készítésénél elkerülhetetlen volt a talajszerkezet kismértékű roncsolódása).



1. ábra. A talajoszlop vízzel történő telítése

Egy zárt víztelítő rendszert alakítottunk ki, amelynek lényege, hogy a víz a talajoszlophoz képest magasabban elhelyezkedő edényből a hozzá rögzített műanyag csövön keresztül folyik ki, amely a talajoszlop aljához is rögzítettünk, ezáltal telítjük a porózus talajszerkezetet. A telítéshez a talajmintától függően legalább 24 óra szükséges.

## 2.4. A méréshez használt szenzorok

A talajoszlop három mélységében, annak felszínén és egy, a talajoszlop felszíne felett oldalt elhelyezkedő pontban szenzorokkal mértük a hőmérséklet és nedves-ség-tartalom változást a 48 órás kísérletek során. A talajoszlop felszíne feletti légtérben egy levegő nedves-ség- és hőmérsékletmérő szenzort helyeztünk el, amely 120 másodperces időközönként továbbította az adatokat a számítógépbe.

A szenzorok elhelyezkedése és megnevezése a következő volt:

- A talajfelszíntől mérve 60 mm, 120 mm és 180 mm mélységben egy-egy hőmérsékleti szenzort (TYP K ZA-9020-FS NiCr-Ni BE NiCr °C) és tenziométert (Ahlborn Insertion Tensiometer) helyeztünk el (2. ábra).



2. ábra. A hőmérséklet szenzorok és a tenziométerek elhelyezkedés a talajoszlopban

- A talajfelszín hőmérsékletét egy egyszerű hőmérsékleti lapszenzorral mértük.
- A talajoszlophoz közel, az infralámpa sugárzásába közvetlenül nem eső pontban, oldalt egy állványon kombinált hőmérséklet-levegőnedvesség szenzort állítottunk be, amely a zárt tér egy adott pontjának relatív páratartalmát (% rH) és hőmérsékletét méri.

A relatív páratartalom a levegőben oldott vízgőz mennyisége a maximálisan oldható vízmennyiség százalékában kifejezve, azaz:

$$RH = 100 \cdot \frac{P_w}{P_s}$$

ahol:  $P_w$  a részleges vízgőz nyomás,  $P_s$  pedig az adott hőmérséklethez tartozó telítési nyomás [7].

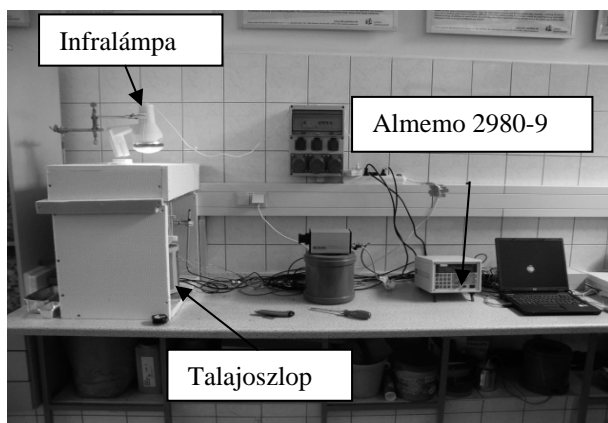
- A tenziométer, amelyet a kísérletek során alkalmaztunk egy vízzel töltött üvegcső és egy digitális érzékelővel összeköttetésbe hozott porózus kerámiacsúcs, amely permeábilis a víz, de impermeábilis a levegő számára.

Méréskor az előzetesen kiforralt desztillált vízzel buborékmentesen feltöltött tenziométer kerámiacsúcsát a talajba kell helyezni. A talaj szilárd fázisának szívóereje hatására a csúcson keresztül víz szívárog a talajba. Mivel a tenziométer zárt belső terébe kívülről nem juthat be levegő, a kiszivárgott víz miatt a belső térben vákuum keletkezik, amelynek mértékét a manométer rögzíti.

A tenziométer tulajdonképpen a talajnedvesség „szívóerejét” kifejező nyomást, az általunk használt szenzoros tenziométer 0-900 hPa tartományban képes mérni. A manométeren leolvasott vákuum vízoszlop-cm-re számítható át, s ennek alapján az adott talajra jellemző pF-görbéről közvetlenül leolvasható a mért tenzióhoz megfelelő nedvességtartalom. Ahogyan a talaj szárad a tenzió növekedni fog, egyenes arányban a talaj folyamatos száradásával [8].

Az összes szenzort az adatrögzítőhöz (Almemo 2980-9) csatlakoztattuk. A mérések végén Excel táblázatokba mentettük a mérési adatokat.

A kísérleti beállítás a 3. ábrán látható:



3. ábra. A talajoszlop kísérleti beállítása

A méréseket hungarocellel körülzárt térben végeztük el (4. ábra), azért, hogy a külső hatások, főleg a légáramok a lehető legkisebb mértékben befolyásolják a mérési eredményeket. Az infralámpának kialakított nyílás volt az egyetlen a szigetelő borításon. A kamera a talajoszloppal és a felületrendszerrel együtt a zárt térben helyezkedett el, az adatrögzítőt és a számítógépet gyakorlati okokból azon kívülre helyeztük.

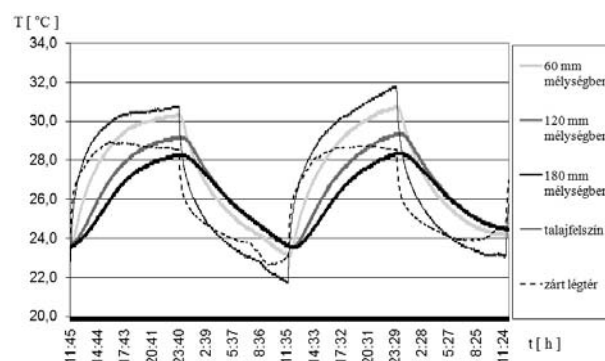


4. ábra. Hungarocellel körülzárt talajoszlop kísérlet

### 3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A következőkben a három kísérlet eredményeit mutatjuk be.

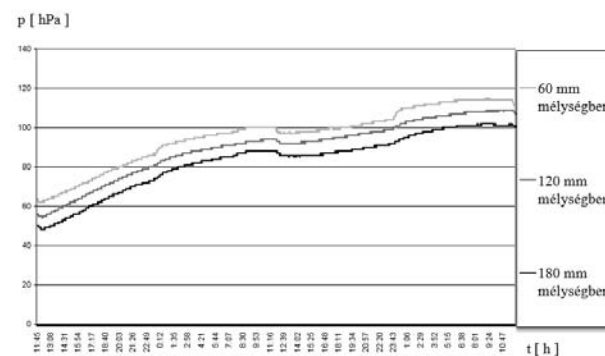
• **Első kísérlet** eredményei a mintavétel utáni „ORGANIC” talajoszlopra vonatkozóan:



5. ábra. Az „ORGANIC” nevű talajoszlopban különböző mélységekben, a talajfelszínen és a zárt légtérben mért hőmérséklet változásai

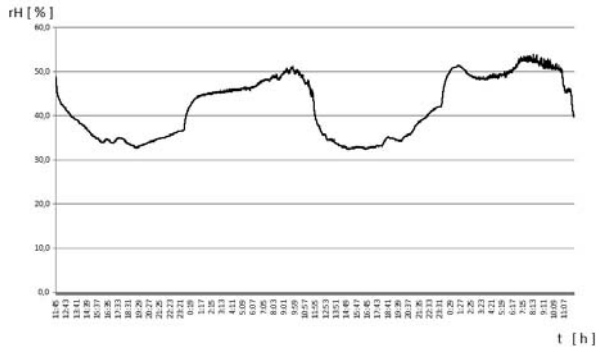
Az 5. ábrán a három vastagabb vonallal jelölt mérési adatsor a talajoszlop három rétegének hőmérséklet változásáról ad információt. A vékony fekete vonal a talajfelszín, a szaggatott vonal a zárt légtér, egy az infralámpa sugárzásába közvetlenül nem eső, a talajfelszín felett oldalt elhelyezkedő pontjának hőmérséklet változását mutatja. Jól látható, hogy a 48 órás kísérlet első 12 órás megvilágított szakaszában a hőmérséklet minden pontban növekszik, értelemszerűen a talajfelszíntől a mélyebb rétegek felé haladva egyre alacsonyabb értékeket ér el. A második, megvilágítás nélküli 12 órában a hőmérséklet a talaj alsó két rétegében közelítőleg kiegyenlítődik, a 60 mm-es mélység, ill. a határfelület, azaz a talajfelszín hőmérséklete tovább csökken. A következő 24 órában a hőmérsékleti adatsor karakterisztikája jó közelítéssel megegyezik az első 24 órával.

A 6. ábrán látható, hogy a talaj három rétegének nedvesség tenziója a kísérlet kezdetén alacsonyabb. Ahogy a talajvíz párologásnak indul a besugárzás hatására, úgy a talaj folyamatosan szárad, növekszik a tenzió. A megvilágítás nélküli szakaszban csökken a tenzió, a kisebb párologás miatt.



6. ábra. Az „ORGANIC” nevű talajoszlop nedvesség tenzió változása a talaj mélységének függvényében

A 7. ábrán az Organic talajoszlop környezetében mért légtér relatív páratartalmának változását tüntettük fel.

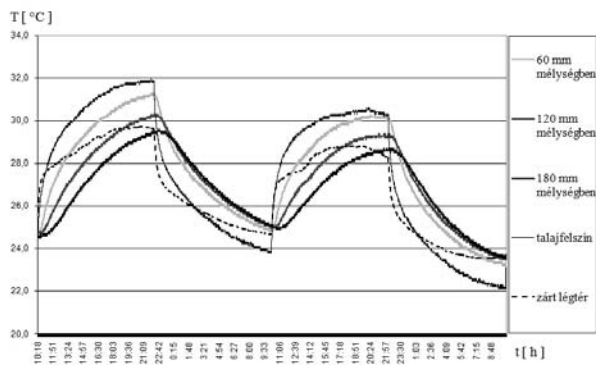


7. ábra. Az „ORGANIC” nevű talajoszlop felszíne feletti légtér relatív páratartalmának változása

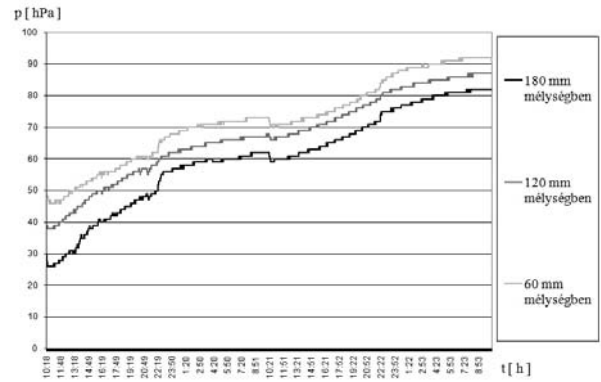
• **Második kísérlet** eredményei a vízzel telített „ORGANIC” talajra vonatkozóan:

A 8. ábrán a jelölés megegyezik az 5. ábrán alkalmazottal. A tendenciák hasonlóak, mint az 5. ábrán, de a hőmérsékleti átlag kissé alacsonyabb, amely nagy valószínűséggel a kísérlet kezdetén beállított telített víztartalomnak köszönhető. A második 24 órában a hőmérsékleti adatsor karakterisztikája jó közelítéssel megegyezik az első 24 óráéval.

A 9. ábra mutatja, hogy a telített „ORGANIC” talajoszlop víznyomása kisebb, tehát nagyobb a nedvességtartalma, mint az ugyanennél a talajnál, de közvetlenül a mintavétel után (6. ábra) végzett kísérlet során. A 10. ábrán látszik, hogy már a kezdetektől fogva magasabb a levegő relatív páratartalma és ez a megvilágítás nélküli második 12 órában a legjobban kifejeződik. Mindez a vízzel telített talaj állapotából következik. A második 24 órában az értékek hasonlóak a telítés nélküli „ORGANIC” talajoszlopnál mértnél (7. ábra.).



8. ábra. Az „ORGANIC” nevű talajoszlopban különböző mélységekben, a talajfelszínen és a zárt légtérben mért hőmérséklet változásai, vízzel telített szintről indulva



9. ábra. A vízzel telített „ORGANIC” nevű talajoszlop nedvesség tenziójának változása a talaj mélységének függvényében

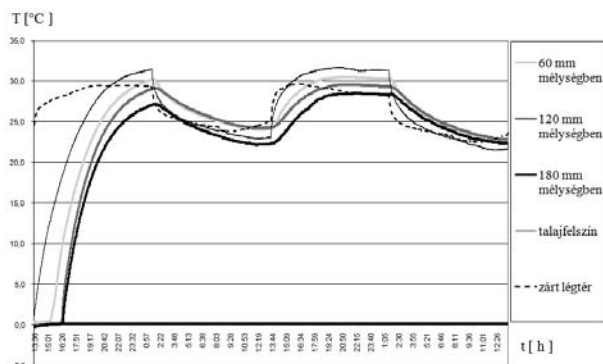
A 10. ábrán a vízzel telített „ORGANIC” nevű talajoszlop feletti légtérben mért relatív levegő nedvességtartalmát tüntettük fel, amely követi a talajban mért hőmérséklet- és nedvességtartalmat.



10. ábra. A vízzel telített „ORGANIC” nevű talajoszlop felszíne feletti légtér relatív páratartalmának változása

• **Harmadik kísérlet** eredményei az előzetesen fagyasztott „HUBA” talajoszlopra vonatkozóan:

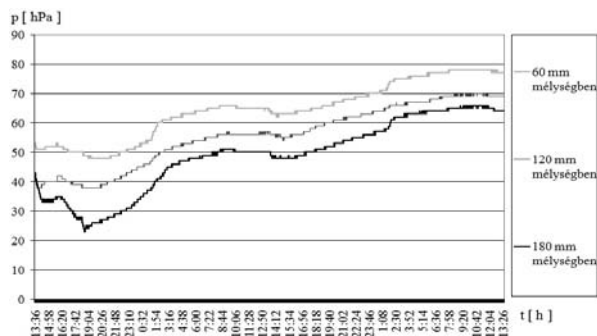
A 11. ábrán jól látszik, hogy a kísérlet kezdetén 0 °C volt a talaj összes mérésnek alávetett pontjaiban a hőmérséklet. A talajfelszín olvadása a kísérlet kezdetétől, a talaj 60 mm-es mélységében másfél óra múltán indult meg. A 120 mm és 180 mm-es mélységben levő talaj olvadása együtt, nagyjából 3 óra után kezdődött el. A 12 órás megvilágítási szakaszt követően a megvilágítás nélküli szakaszban a 60 mm és 120 mm-es mélységek hőmérséklet adatai nagyjából megegyeztek, de a 180 mm-es mélység értékei ezek alatt maradtak. A talajfelszín hőmérsékletei a 180 mm-es mélység értékeihez közelítettek. A következő 24 órában hasonlóképp alakult a mérési adatsor, de a 180 mm-es mélység hőmérsékletei már kiegyenlítődték a 60 és 120 mm-es mélységek értékeivel. A mérési adatsor második 24 órájának karakterisztikája hasonló az 5. és 8. ábrán látottakhoz.



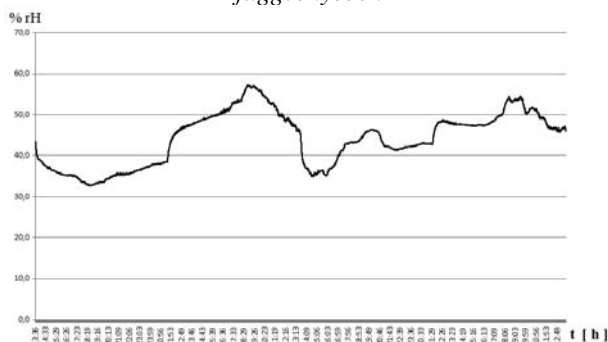
11. ábra. A „HUBA” nevű talajoszlopban különböző mélységekben, a talajfelszínen és a zárt légtérben mért hőmérséklet változásai, vízzel telített szintről indulva, 12 órás fagyasztást követően

A kísérlet során a talaj tenziójának megváltozása (12. ábra) kisebb mértékű, mint az „ORGANIC” esetén, maximum 30 hPa, amelynek a magyarázata, hogy a talajnak előbb fel kellett olvadnia, majd csak ezután párologhatott el a víz belőle. Itt is megfigyelhető, hogy a levegő relatív nedvességtartalmának növekedése mind a két megvilágítás nélküli, a talaj tenziójának növekedésének szakaszában következett be.

A mérési adatsorból kitűnik, hogy a relatív páratartalom változása a második 24 órában nem egyértelműen követte a hőmérséklet és tenzió értékeket, amely valószínűleg a külső, zavaró behatásoknak tulajdonítható (13. ábra).



12. ábra. A „HUBA” nevű talajoszlop nedvesség tenziójának változásai a talaj mélységeinek függvényében



13. ábra. A „HUBA” nevű talajoszlop felszíne feletti terének relatív páratartalmának változása

## 4. KONKLÚZIÓ

A bemutatott kísérletek szemléletesen mutatják a napsugárzás ciklikus jellegének szimulálására alkalmazott infravörös lámpa hatására a talajban és a talajfelszín felett elhelyezkedő légtérben végbemenő hőmérsékleti és nedvességtartalmi változásokat [9], melyeken keresztül sikerült gyakorlati szinten leírni a talajoszloprendszerben bekövetkező száradási folyamatot. Mivel a folyó kutatási programjaink igen lényeges részét jelenti a konvektív áramlási jelenségek változatos formáinak a beható vizsgálata, jelen kísérleti munkánkban igyekeztünk minél jobban megalapozni a témakörre vonatkozó jövőbeni további kísérleti-, matematikai modellezési- és számítógépes szimulációs tevékenységünket. Végül célunk a fagymentés talajoknál is látványosan megnyilvánuló Rayleigh-Bénard-féle konvekciós cellák megjelenési feltételeinek minél kifinomultabb és részletesebb módon történő reprodukálása és leírása a konvekciós, illetve a konvekciós-diffúziós rendszerekre jellemző nemlineáris parciális differenciálegyenletek, s ezek alkalmas rendszerei révén. Jelen kísérleti munkánk így egyaránt komoly hozzájárulást jelenthet egyes alapvető fontosságú geofizikai folyamatok-, valamint a vonatkozó, a disszipatív struktúrák elméleti leírásainál jelentkező modellezési feladatok eredményes megoldásához.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik a MÖB-DAAD Alapítványnak, hogy támogatták kutatási munkájukat (P-MÖB/843).

## 6. IRODALOM

- [1] MIHALAKAKOU G.: On estimating soil surface temperature profiles, Energy and Buildings, Vol. 34, pp. 251-259, 2002.
- [2] SAUER T.J., NORMAN J.M., TANNER C.B., WILSON T.B.: Measurement of heat and vapor transfer coefficient at the soil surface beneath a maize canopy using source plates, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 75, pp. 161-189, 1995.
- [3] BUKA Á., ÉBER N.: Konvekció égből földben, vízben és folyadék-kristályokban, Fizikai Szemle pp. 359, 2008/10
- [4] SASVÁRI L.: A Rayleigh-Bénard instabilitás, in: Nemlineáris jelenségek: Struktúrák kialakulása és káosz, ed. Kürti J., ELTE Fizikus Diákkör, Budapest, pp. 90-134, 1983
- [5] KEVIN J. GLEASON, WILLIAM B. KRANTZ, NELSON CAINE, JOHN H. GEORGE ROBERT D. GUNN: Geometrical Aspects of Sorted Patterned Ground in Recurrently Frozen Soil, Science, Vol. 232, no. 4747, pp. 216-220, 1986
- [6] GLEDZER E.B., GRANBERG I.G., CHKHETIANI O.G.: Air Dynamics near the Soil Surface and Convective Emission of Aerosol, Atmospheric and Oceanic Physics, Vol. 46, No. 1, pp. 29-40, 2010
- [7] NAGY G.: Kapacitív elvű szenzorok, BME EET (<http://www.eet.bme.hu/~nagy/caphumsens.pps>)
- [8] VÁRALYAY GY.: A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest Kiadó, 2002
- [9] GAOA Z., BIANC L., HUA Y., WANGA L., FAND J.: Determination of soil temperature in an arid region, Journal of Arid Environments, Vol. 71, pp. 157-168, 2007