

## A talaj hővezetőképessége napi változásának mérése

SZÁSZ GÁBOR

*Debreceni Agrártudományi Főiskola, Debrecen*

A különböző talajok termofizikai tulajdonságainak ismerete igen sok szempontból hasznos és szükséges. Nemcsak a talajközeli légtér és a talaj energetikai viszonyainak alakulása szempontjából elengedhetetlen a talaj hőtani tulajdonságainak ismerete, de a gyakorlati élet, főként a mezőgazdaság is igen jól használhatja e kutatási eredményeket. A talajművelési eljárások egyik alapvető célja az, hogy a beavatkozásunk során a felső rétegek hő- s ezen keresztül pedig vízgazdálkodását kedvezőbbé tegyük. Ez irányú tevékenységünk csak abban az esetben jár sikerrel, ha az céltudatos, és a beavatkozás során beállott változások pontosan lemérhetők. Sajnálatos tény, hogy a talajművelési eljárások fizikai, de különösen hőtani hatásait részletesen és pontosan nem minden vonatkozásában ismerjük. Ennek oka főként arra vezethető vissza, hogy nem rendelkezünk olyan mérőberendezésekkel, amelyek segítségével szántóföldi körülmények között is a felmerült kívánalmaknak megfelelő méréseket végezhesünk.

A talajok hőtani jellemzői közül a *hővezetőképesség* az, amelynek a meghatározására eddig egységes eljárás nem alakult. A hővezetőképesség ismerete energiagazdálkodási szempontból igen nagyfontosságú. Mivel a talajban állandó jelleggel víz, ill. vízgőz áthelyeződés, valamint víz-halmazállapotváltozás (párolgás—kondenzáció) zajlik le, a talaj hőtani jellemzői, így a hővezetőképesség is állandó változásban van. A hőtani adatok azonos időjárási viszonyok alatt, sőt még egy napon belül sem tekinthetők állandónak, különösen a talaj felső rétegeiben. A talaj hőviszonyainak vizsgálatai csak abban az esetben tehetőek pontosabbá, ha — a többi talajklimatológiai elemhez hasonlóan — a hőtani jellemzőket is folyamatosan, vagy legalábbis gyakorta határozzuk meg a megfigyelési periódus alatt.

### 1. A talaj hőállandóinak meghatározására szolgáló módszerek

A talaj hőállandói közül az alábbiak azok, amelyekkel leggyakrabban dolgozunk: 1. a hővezetőképesség, 2. hőkapacitás, 3. hőmérséklet vezetőképesség. A három érték között az alábbi összefüggés áll fenn:

$$\lambda = kc\varrho$$

ahol  $k$  a hőmérsékletvezetőképesség ( $\text{cm}^2\text{sec}^{-1}$ ),  $\lambda$  a hővezetőképesség ( $\text{gcal/cm sec fok}$ ),  $c$  a talaj fajhője,  $\varrho$  pedig a sűrűség jelzésére szolgál. Meg kell jegyezni, hogy a talaj fogalma alatt sem itt, sem pedig a későbbiekben nem a száraz szilárd vázat, hanem a szilárd váz, a benne levő víz és a levegő együttesét értjük. Annak a megismerése, hogy a felszínre érkező, vagy a felső rétegekből a mélybe áramló hőenergia milyen mértékű felmelegedést vált ki, az említett hőállandóktól függ. Az állandók meghatározása két úton történhet:

1. *közvetett úton*: számítással, 2. *közvetlenül*: műszeres méréssel.

A közvetett eljárások útján a talaj termikus tulajdonságainak meghatározása igen bonyolult s emellett a kapott eredmények csak jó közelítésnek tekinthetők. Ezen az úton az *átlagos hővezetőképesség* meghatározása részben talajhőmérsékleti adatok alapján, részben laboratóriumban meghatározott fajhő és sűrűség ismeretében lehetséges. E módszernek két hátránya is van. Az egyik az, hogy a hővezetőképességet csak *napi átlagban* kapjuk meg s így nem ismerhetjük meg annak napi változását. A másik nehézség az, hogy a sűrűség meghatározása csak mintavétel útján lehetséges. Közismert a térfogathú mintavétel nehézsége és eredményeinek nagyfokú szóródása. Mivel a talajhőmérséklet mérése és a mintavétel nem azonos helyen történik, a talaj heterogenitásából nagyobb különbségek adódhatnak, mint esetleg a kérdéses értéknek napi változása. E néhány indok alapján tehát elfogadható az, hogy *a közvetett módszerek alapján a talaj termikus állandóinak átlagos értékei csak megbecsülhetők, de pontosan nem határozhatók meg.*

A közvetett eljárások használata régebb múltra tekint vissza és sokkal elterjedtebb, mint *a közvetlen mérési módszerek.* Ennek oka abban rejlik, hogy a feladat megoldása nem egyszerű. A hővezetőképesség műszeres meghatározása sem új keletű. ALBRECHT 1932-ben [1], majd később CSUDNOVSKIJ [cit. 4] kísérlete meg műszeres úton meghatározni a hővezetőképesség értékét, s a mérőeljárások elméleti kérdéseiben VAN DER HELD és VAN DRUNEN [5], DE VRIES [8], BLACKWELL [2] és később KOITZSCH [6] jelentős lépéseket tett.

## 2. A hővezetőképesség műszeres meghatározása

A továbbiakban kizárólagosan a műszeres meghatározás kérdéseivel foglalkozunk.

A legmegbízhatóbb mérés elve a következő. Egy elméletileg végtelen hosszúságú homogén vékony vezetőbe ismert nagyságú áramot bocsátva a vezető az áram és ellenállásának arányában fel fog melegedni. A vezető felületének hőmérséklete STÁLHANE és PYK [cit. 5] szerint az alábbi egyenlettel határozható meg:

$$\theta = A \frac{q}{\lambda} \ln \left( \frac{r_0^2}{t} + B \right) \quad 2)$$

ahol  $r_0$  a huzal sugara cm-ben,  $t$  az idő,  $A$  és  $B$  állandók, a huzal felületének hőmérséklete,  $\lambda$  a hővezetőképesség (cal/cm sec, °C),  $q$  a vezető 1 cm hosszú szakaszára juttatott energia  $W$ -ben kifejezve. Stálhane-Pyk 1932-ben felállított tapasztalati egyenletének megoldása azonban matematikai nehézségekbe ütközött, ezért Van der Held és Van Drunen 1949-ben e problémát megbízhatóbb elméleti alapokra helyezte.

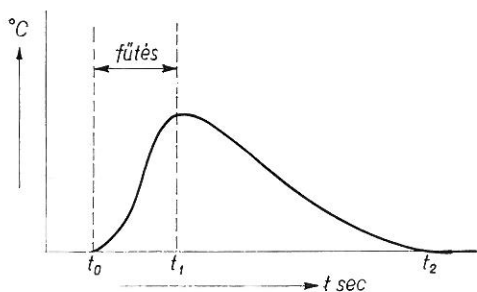
A vezető felszínének hőmérséklete végül is a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$\theta = \frac{q}{4\pi\lambda} \left( \ln \frac{4at}{r^2} - 0.5772 \right) \quad 3)$$

A 3. sz. egyenlet szerint tehát a lineáris hőforrás felszíni hőmérséklete a huzal anyagi tulajdonságain és a közölt hőmennyiségen kívül a környezetének hővezetőképességétől függ.

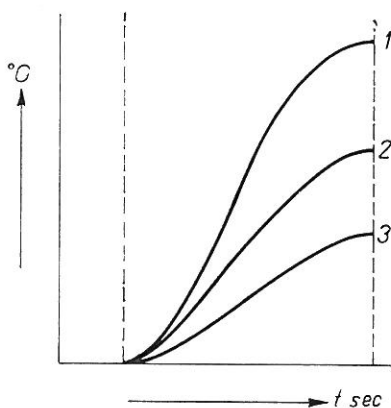
Ez az egyenlet adta azt a gondolatot, hogy a  $\lambda$  meghatározásával foglalkozunk s e mérési elv alapján egy olyan egyszerű hővezetőképességmérőt állít-

sunk össze, amely szántóföldi körülmények között is használható. Ebből a célból előzetes kísérleti méréseket folytattunk egy ideiglenes összeállítású készülékkel, amely két részből állott: 1. tápegység, 2. mérőszonda. A tápegység energiaforrását 4.5 v-os száraz telep alkotta. Ebből az energiaforrásból meghatározott erősségű áramot (125 mA) bocsátottunk egy fűtőtekercsbe. A fűtőtekercs belsejének hossz tengelyébe helyeztük egy termoelem melegpontját s az egészet egy 11 cm hosszú injekciós tűbe húztuk, ügyelve arra, hogy a spirális fűtőtekercs elektromosan szigetelve legyen mind a termoelemtől, mind pedig a tű belső falától. A termoelem anyaga mangánin-konstantán volt. Kísérleti mérések folytak annak a kiderítésére, hogy a különböző ideig tartó fűtés milyen fokú hőmérséklet emelkedést vált ki a fűtőtekercsben. A meghatározott ideig tartó fűtés nyomán a hőmérséklet sajátos változást mutatott. Az 1. ábra légszáraz tengeri homokban végzett mérés hőmérsékleti görbéjét mutatja be. A fűtés ideje alatt a hőmérséklet igen gyorsan emelkedett majd a fűtés kikapcsolása után a fűtőtekercsben felhalmozódott hőenergiát a környezete fokozatosan elvezette s bekövetkezett a mérőszonda és a környezet közötti hőmérsékleti egyensúly. A méréseket többször megismételve azt tapasztaltuk, hogy azonos fűtőtekercs ellenállás (35 Ohm), azonos fűtőáram és fűtési időtartam, valamint azonos közeg esetén kapott felmelegedési és lehülési görbék igen jó fedésben voltak egymással.



1. ábra

Az elektromosan fűthető szonda felmelegedési és lehülési görbéje



2. ábra

Azonos fűtő energia nyomán bekövetkezett felmelegedés különböző nedvességtartalmú homokon. 1: Légszáraz tengeri homok. 2: 50% vízkapacitású tengeri homok. 3: Maximális vízkapacitású tengeri homok.

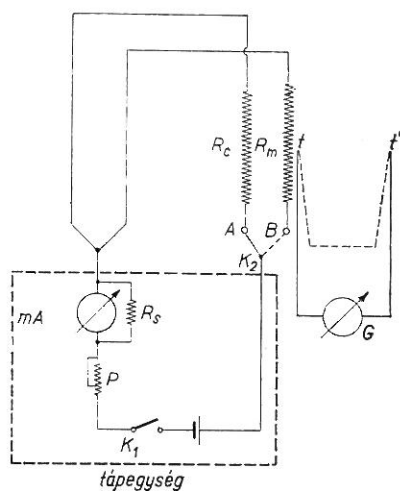
A mérések következő lépéseként a szondát eltérő nedvességtartalmú homokba helyezve több mérési sorozatot végeztünk. A mérések eredményei azt mutatták, hogy a nedvesség növekedésével a hőmérséklet emelkedése mérséklődik. A 2. ábra különböző nedvességű tengeri homokban végzett mérés hőmérsékleti görbéit tartalmazza.

Az ismertetett alapkísérletek olyan eredményt szolgáltatottak, hogy ezek után sor kerülhetett a hővezetőképesség mérésére szolgáló eljárás kidolgozására. A legfontosabb kérdés az, hogy melyik jellemző alapján történjen a mérés, ugyanis a hővezetőképességtől függ az azonos áram hatására bekövetkező felmelegedés, illetve lehülés sebessége:

$$T_1 - T_0 = f(\lambda), \text{ ha } : t_0 - t_1 = \text{const.}; I = \text{const.}$$

$$T_2 - T_1 = f(\lambda), \text{ ha } : t_0 - t_1 = \text{const.}; I = \text{const.}$$

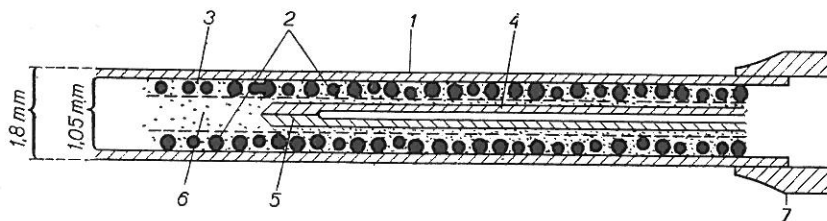
A fenti függésekből az elsőt választottuk ki a mérés elve alapjául, mivel a többszöri mérések szóródása kisebb volt, mint a második függés esetében. A mérés elve tehát a következő: *időegység alatt azonos áramerősség hatására bekövetkező hőmérséklet emelkedés nagysága arányos a környezet hővezetőképességével.* E szerint minél jobb a közeg, — jelen esetben a talaj — hővezetőképessége ( $\lambda$ ) a fűtőtekercsben keletkező hő, annál csekélyebb mértékben halmozódhat fel ( $T_1 - T_0$ ).



3. ábra

A hővezetőképességmérő kapcsolási vázlat.  $R_c$  — hitelesítő ellenállás,  $R_m$  — mérő szonda fűtőellenállása,  $K_1$  — a tápegység kapcsolója,  $K_2$  — a mérőszonda kapcsolója,  $P$  — potenciométer,  $R_s$  — sönt,  $t, t'$  — a termoelem forrasztási pontjai

jegyzendő, hogy BUETTNER [3] rövidebb fűtési időtartamhoz csupán 10 cm-es szondát alkalmazott. Az általunk elkészített szonda 11 cm. A szonda hosszának figyelembevétele igen fontos, mivel annak két végén a mérés pontosságát csökkentő ún. „véghatás” lép fel, amely a szonda rövidegsége esetén olyan méreteket ölthet, hogy az már nem tekinthető olyan lineáris hőforrásnak, amelytől a hő elvezetése legnagyobb hányadában radiális irányban történne. Az általunk hasz-



4. ábra

A mérőszonda keresztmetszetének vázlat. 1: a szondahüvely, 2: fűtőtekercs, 3: elektromos szigetelés a fűtőtekercs és a termoelem között, 4: a termoelem vezetéke, 5: a termoelem forrasztási pontja, 6: hőtovábbító közeg, 7: a szonda csatlakozó feje

Az azonos kísérletek esetén kapott egybehangzó eredmények megerősítették a feltevés helyességét s majd különböző ellenőrző mérések után elkészült a mérőberendezés első példánya, amelynek kapcsolási rajzát a 3. ábra mutatja be.

A vázolt készülék megépítésénél a legmesszebbmenőkig ügyelni kell arra, hogy az áramkör ellenállása elenyészően csekély legyen a fűtőtekercs ellenállásához képest. A feltétel az, hogy 0.1 Ohm pontossággal kell a mérőszonda fűtőtekercsének ellenállását ismerni, ugyanis a fűtőáram nyomán keletkezett hőmennyiség pontosan csak ebben az esetben határozható meg.

További fontos kérdést jelent a mérőszonda hosszúságának helyes megválasztása. Mivel a gyakorlatban a mérési elvnek megfelelő hosszúságú lineáris áramforrást nem alkalmazhatunk, ezért meg kell határozni azt a minimális szondatávolságot, amelylyel még jó eredményt kaphatunk. Az erre vonatkozó javaslatok eléggé eltérőek. KOITZSCH [6] SKEIB számításai alapján 21 cm-t tekint minimális szondahossznak, és 5 min. fűtési időtartamot javasol. Meg-

nált mérőszonda felnagyított szerkezeti felépítését a 4. ábra szemlélteti. A szonda annál jobb eredménnyel használható, minél jobb az építéséhez használt anyagok hővezetőképessége, minél csekélyebb a tömege, minél kisebb a szondából a termoelem hidegpontjába történő hőátáramlás, valamint a szonda belsejében az egyes alkotórészek között minél csekélyebb a hőátadási ellenállás. Kísérleti méréseink szerint a mérési eredmények szóródását jelentős mértékben befolyásolja az, hogy a szonda alkatrészei által ki nem töltött teret milyen anyaggal telítjük. Semmiféle képpen nem ajánlható a légtöltés, mivel ekkor igen nagy a külső köpeny, a fűtőtekercs és a termoelem közötti hőátadásból származó ellenállás. Az üres terek kitöltésére szilikon olajat használtunk.

A mérő berendezésnek fontos egységét képezi a fűtés hatására bekövetkező hőmérsékletemelkedés meghatározására használt galvanométer. A használt galvanométerrel szemben magas követelményeket kell támasztani a mérés megbízhatósága érdekében.

Az általunk használt (Kipp Al 1.) galvanométer körfrekvenciája: 1.5 sec, míg a Multiflex galvanométereké 3—4 sec. között helyezkedik el.

Tekintettel arra, hogy az ismertett készülékkel a hővezetőképesség nem közvetlenül határozható meg, ezért a készüléket üzembehelyezése előtt hitelesíteni kell. A hitelesítés ALBRECHT által kidolgozott módszer [1] alapján végezhető el úgy, hogy olyan különböző folyadékokban végzünk mérési sorozatokat, amelyeknek hővezetőképességét ismerjük:

<i>anyag, hőfoka</i>	$\lambda$
Higany (20°) .....	0.022
Víz, deszt. (30°) .....	0.0014
Glikol (20°) .....	0.00062
Metilalkohol (30°) .....	0.000505
Etilalkohol 96% (21,8°) .....	0.00046
Anilin (20°) .....	0.00041
Amilalkohol (20°) .....	0.00049
Toluol (20°) .....	0.00035
Magnézia (0°) .....	0.000092

A folyadékokban történő mérésnél a szonda felszínének hőmérsékletét nem csupán a közeg hővezetőképessége határozza meg, hanem a felmelegedés mértékétől függő konvektív mozgások is. SEELIGER [7] szerint e konvektív mozgások hatása igen jelentős s ezeknek nagysága a mérőszonda sugarától, a folyadék viszkozitásától, annak hővezetőképességétől és a viszkozitás hőmérsékleti koefficiensétől, valamint a fajhőjétől függ.

A konvekció felmelegedést mérséklő hatás meghatározására a DAVIS-féle egyenlet [cit. 1.] szolgál, amelyet erre a célra már régóta használnak.

Minden szondát egyedileg kell hitelesíteni. A hitelesítés a következő módon történik. A szonda felszínének hőmérséklete, illetve a hitelesítő folyadék hőmérsékletével szembeni hőmérsékleti többlet az alábbi egyenlettel fejezhető ki abban az esetben, ha konvekciós mozgások nem lépnek fel:

$$T_1 - T_2 = \frac{Q}{2\pi \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

ahol  $T_1 - T_2$  a fűtés nyomán kialakult hőmérsékleti különbség,  $Q$  a távolságegységre eső fűtőenergia nagysága,  $\lambda_2$  a folyadék hővezetőképessége,  $r_1$  a szonda

átmérője,  $r_2$  a konvekciós mozgások által nem zavart térrész távolsága a szondától. Az utóbbit néhány cm-nek ajánlatos venni. Ily módon megkapjuk a mérőszonda felszíni hőmérsékletét, konvekciós mozgások hiánya esetén.

Következő lépésként termoelemmel meghatározzuk a tényleges hőmérsékleti különbséget. Az egyenlet szerinti és a mért eredmény közötti különbség szolgáltatja a konvektív mozgások során fellépő hűtőhatást. A hitelesítő görbét nyugalmi állapotra kell hitelesíteni, mivel a méréseket szilárd közegben végezzük majd. A műszer hitelesítésének könnyítését jelenti az, hogy nem szükséges minden egyes — a korábbiakban felsorolt — folyadékban a hitelesítést elvégezni, hanem csupán olyan folyadékok használata szükséges, amelyekben történt mérési eredmény jól definiálja a hitelesítési görbét.

### 3. Kísérleti mérések ismertetése

A hitelesített készülékkel összehasonlító méréseket végeztünk különböző talajhőmérsékleti viszonyok között az Albrecht-féle hőforgalommérővel. A mérések laboratóriumi körülmények között ötszörös ismétlésben történtek. Az ismétlések alkalmával a tervezett feltételeket minden esetben biztosítottuk és ellenőriztük. Ilyen formában igyekeztünk elhárítani és felfedni a mérések előkészítésének hibáit. A méréseket több szakaszban végeztük el s ezek a következők voltak:

1. *Légszáraz tengeri homok*
  - a) azonos hőmérsékletű talajban,
  - b) horizontális grad:  $+2.1^\circ/\text{cm}$ ,
  - c) horizontális gradiens:  $-2.4^\circ/\text{cm}$
2. *50<sup>0</sup>/o-os vízkapacitásig telített tengeri homok*
  - a) azonos hőmérséklet esetén,
  - b) horizontális gradiens:  $+2.3^\circ/\text{cm}$ ,
  - c) horizontális hőm. gradiens:  $-2.3^\circ \text{ C}$ .
3. *Maximális vízkapacitásig telített tengeri homok*
  - a) azonos hőmérséklet esetén,
  - b) horizontális hőm. gradiens:  $+2.3^\circ/\text{cm}$ ,
  - c) horizontális hőmérsékleti gradiens:  $-2.4^\circ/\text{cm}$ .

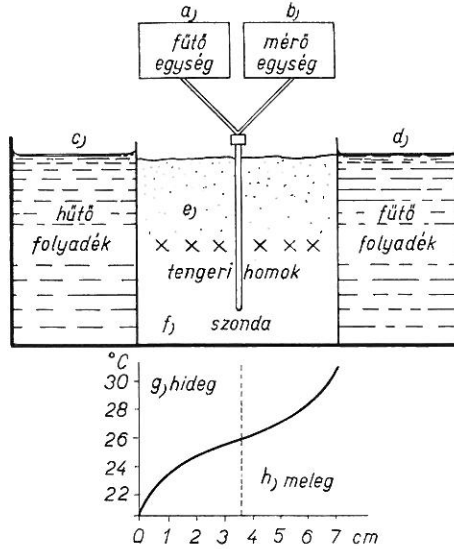
A tengeri homokra azért esett a választás, mivel ennek az anyagi, a szerkezeti heterogenitása viszonylag csekély. Az első kezelésnek a) pont felel meg. E feltétel azt jelenti, hogy az edényben elhelyezett homoknak minden pontja azonos hőmérsékletű. A hőmérsékleti homogenitást előzetes termosztátban való tartás útján értük el. A termosztátban tartott hőmérséklet  $22^\circ$  volt s a méréseket ott végeztük el, miután termoelemes mérés útján győződünk meg a hőmérsékleti egyensúlyról. Az edény belső mérete  $9 \times 7.5 \times 15$  cm volt. A hőmérsékleti gradienseket a talajban részben hűtéssel az egyik oldalról, részben pedig fűtéssel a másik oldalról alakítottuk ki. A kísérlet elrendezését s a talajban beálló hőmérsékleti eloszlást az 5. ábra mutatja.

A pozitív hőmérsékleti gradiens azt jelenti, hogy az Albrecht-rendszerű hővezetőképességmérőben a hőáramlás iránya megegyezik a talajhőmérséklet csökkenés irányával, negatív gradiens esetén pedig az ellenkezője következik be. Az Albrecht-féle hővezetőképességmérővel történő mérések során eltértünk a módszer szerzője által követett eljárástól, amennyiben a mérések során nem az általa használt egyenletet, hanem a hitelesítési görbét alkalmaztuk a hővezetőképesség értékének meghatározására.



A mérési eredmények közlésétől a jelen esetben eltekintettünk, mivel a kétféle módon kapott mérési sorozat középértéke között a „t” próba szerint szignifikáns különbség nem áll fenn. A mérési eredmények szerint a tűszondás mérési eljárással kapott értékek igen jó egyezést mutatnak az Albrecht-módszerrel kapott értékekkel abban az esetben, ha a vizsgált közegben hőmérsékleti különbség nem áll fenn.

Olyan esetekben, amikor az Albrecht-féle készülék hőáramlási iránya a hőmérsékletcsökkenés irányával egybeesik, akkor a mért hővezetőképességi érték nagyobb, mint a tűszondás eljárással kapott eredmény. Ha az említett készülék hőátadási iránya a talaj hőmérsékletcsökkenésével ellentétes, akkor a hővezetőképesség értéke valamivel kisebb, mint a tűszondás műszer által szolgáltatott eredmény. Az eltérések bekövetkezése rendszeres jelenség volt a kísérletek során, tehát ez arra utal, hogy az Albrecht-féle műszer által kapott eredmények bizonyos hibával terheltek, ez a hiba a gradiens irányától függően pozitív vagy negatív, abszolút nagyságát pedig a gradiens mértéke határozza meg.



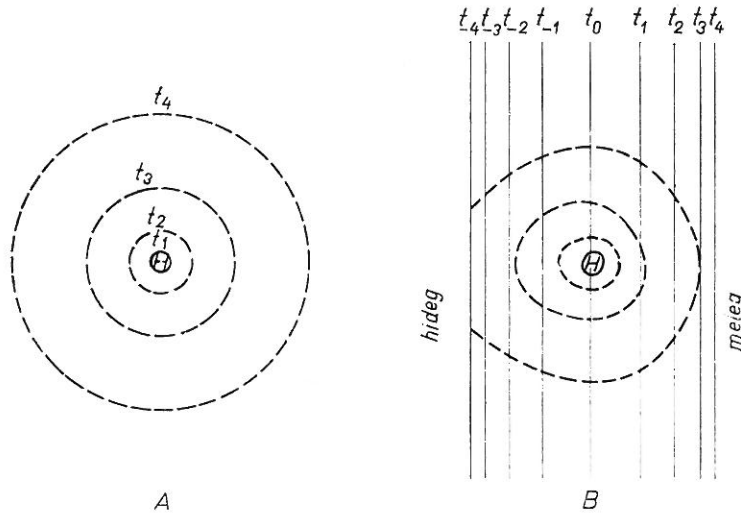
5. ábra

Felső rész: A hőmérsékleti gradiens kialakítására szolgáló berendezés vázlata. a) fűtő egység; b) mérő egység; c) hűtő folyadék; d) fűtő folyadék, e) tengeri homok; f) szonda. Alsó rész: A hőmérséklet értékei a mérési pontokban. x: mérési pontok. g) hideg; h) meleg

A következtetés helyességének eldöntése céljából kísérleti mérési sorozatot állítottunk be, melynek során a hőterjedést ellenőriztük a hőmérsékleti gradiens fennállása esetén. A mérések során azt figyeltük meg, hogy a talajban elhelyezett fűtőtekercs (0.3 mm Ø) körül az izoterma felületek hogyan helyezkednek el, ha azt lineáris hőforrásnak tekintjük. A hőmérséklet meghatározására igen csekély hőkapacitású termoelemeket (manganin-konstantán 0.04 mm Ø) használtunk. A kísérleti berendezés vázlatát a 6. ábra szemlélteti. A kísérleti mérések eredményei szerint egy lineáris hőforrás körül homogén hőmérsékletű térben az izoterma felületek olyan koncentrikus henger felületeket alkottak, amelyeknek hossz tengelyében a hőforrás foglal helyet. Tehát az áram hatására keletkezett hő egyenlő sebességgel terjed minden irányban s így a hőmérséklet-emelkedés azonos távolságban egyenlő a hőforrástól minden irányban, feltéve ha a talaj azonos hőtani tulajdonságokkal rendelkezik (6. ábra. A. rész).

Ha kísérletileg olyan hőmérsékleti eloszlást hozunk létre, amelyben az izoterma felületek egymással nagyjából párhuzamosan helyezkednek el, s ha egy izoterma felület síkjába helyezzük el a lineáris hőforrást, akkor az tapasztalható, hogy a keletkezett hő nagyobb hányada a hidegebb térfélbe áramlik, ami ott nagyobb mértékű felmelegedést vált ki, mint a meleg térrészbe áramlott csekélyebb mennyiségű hőenergia. Ebben az esetben a hőforrás körül kialakuló izoterma felületek már nem lesznek koncentrikusak (6. ábra B. része). Ebből határozottan kitűnik az, hogy a hő nem egyenletesen terjed radiálisan minden

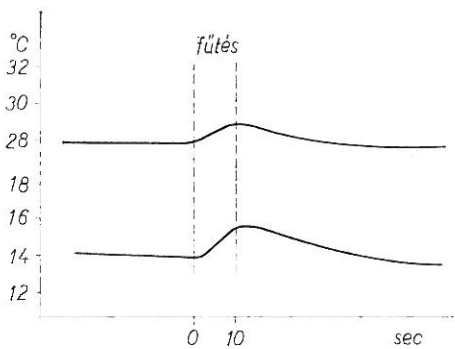
irányba. Fotoregisztrálás útján a fűtőtekerestől 1 cm távolságra mértük a hőmérsékletet a hideg és meleg oldalon. A mérés eredményét a 7. ábra mutatja. Ebből látható, hogy az előre meghatározott hőimpulzus a két oldalon eltérő mértékű felmelegedést eredményez. Feltételezésünk szerint ez az oka annak, hogy az



6. ábra

Az izoterma felületek keresztmetszete homogén hőmérsékletű tengeri homokban (A), az izoterma felületek keresztmetszete hőmérsékleti gradiens esetén (B)

Albrecht-rendszerű hővezetőképességmérő készülék nem szolgáltatott a tűszondás eljárással azonos eredményt. A negatív hőmérsékleti gradiens bizonyos mértékben fékezi az érzékelő irányába leadott hő átáramlását, míg a pozitív hőmérsékleti gradiens növeli az érzékelőhöz eljutott hő mennyiségét, mivel a hóforrás jelenléte nélkül is a melegebb térrészből hőenergia vezetődik irányába.



7. ábra

A hőmérséklet változása a fűtőtekerestől 1 cm távolságra a hideg és meleg oldalon. (Felső görbe: meleg oldal, alsó görbe: hideg oldal.)

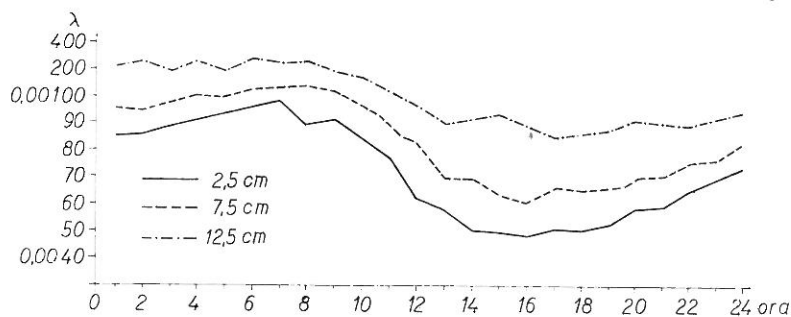
A műszer konstrukciójából származó jelenség módosítja a természetben ténylegesen fennálló hőátadási feltételeket. A nappali napszakban, amikor pozitív hőmérsékleti gradiens alakul ki (a felszín a legmelegebb s lefelé haladva fokozatosan csökken a talaj hőmérséklete) az Albrecht-féle műszer alacsonyabb hővezetőképességű értéket ad, mint a tényleges, mivel e műszernél a mesterségesen keltett hőimpulzus és a természetes hőterjedés iránya ellentétes. A nappali felmelegedés során a hő lefelé irányul, s egyidejűleg a mesterséges úton keltett hőimpulzusoknak pedig a felfelé való terjedését mérjük. Nyilvánvaló, hogy természetes hőterjedés a vele



ellentétes irányú mesterséges hőimpulzus mértékét csökkenti. Éjszaka ezzel ellentétes feltételek alakulnak ki, ugyanis a természetes és mesterséges hőáramlás iránya azonos. E sajátos helyzetből adódik az, hogy napi átlagban a két műszer által szolgáltatott eredmény között lényeges eltérés nincs, azonban a különböző időpontban végzett mérések mégsem adnak azonos értéket. Az Albrecht-féle módszerrel mért napi menet kisebb amplitúdóval rendelkezik, mint a tűszondás mérési eljárás segítségével kapott napi menet. Feltehető, hogy ha az Albrecht-rendszerű készülék nem függőleges, hanem vízszintes elrendezésű lenne, ezek a hibák nem következnenek be.

#### 4. A hővezetőképesség napi változása

A hővezetőképesség igen határozott napi változást mutat. A változás mértéke rendkívül nagy méreteket ölthet attól függően, hogy a talaj átnedvesedése, vagy kiszáradása milyen fokú volt. Nem célunk jelenleg az, hogy a hővezetőképesség napi változásának okait elemezzük, mivel számos szerző (Albrecht, Bracht) bőséges példával illusztrálta a talaj hőforgalmának alakulását. A következőkben az ismertetett műszerrel mért mérési eredményeket mutatjuk be.



8. ábra

A hővezetőképesség napi menete különböző mélységben

A mérések elvégzése során nem törekedtünk a különböző talajtípusok hővezető képességének a meghatározására, mivel ez egy külön értekezés tárgyát képezi, csupán a napi menet alakulására s annak jellegzetességeire kívánunk rámutatni.

A 8. ábra egy teljes nap mérési sorozatát mutatja be különböző mélységből. A mérési hely talaja rendkívül heterogén tulajdonsággal rendelkezett, mivel az tereprendezés során feltöltött terület volt. Az ábrából első rápillantás után is azonnal felismerhetjük a hővezetőképesség szabályos napi menetét, amely nagyjából ellentétes a hőmérséklet menetével. A hővezetőképesség napi menetének alakulása igen szoros összefüggésben áll a talaj vízforgalmával, illetve a benne lejátszódó párolgási és kondenzációs folyamatok egymásutáni rendjével. A szilárd váz hővezetőképessége — legalábbis rövidebb időn belül — állandónak tekinthető. Háborítatlan talajnál ez több hétre tehető, míg a frissen művelt talaj sűrűsége néhány óra alatt is tetemesen változhat. A sűrűség változásának szerepe azonban másodrangúnak minősíthető a nedvességtartalom változásához képest. A felszíni rétegekben különösen akkor tapasztalható a hővezetőképesség nagymértékű napi ingadozása, ha a talaj nedvességtartalmában is nagy

változás következik be. Általában a kiszáradás a hővezetőképesség csökkenését, az átnedvesedés pedig a hővezetőképesség növekedését okozza. A hővezetőképesség napi menetének ingása egyúttal közvetve tükrözi a nedvességváltozásokat. A napi menet maximuma általában a leghűvösebb napszakban, tehát a kora reggeli órákban következik be. A hővezetőképesség megnövekedését a talajban levő vízgőz kondenzációja okozza. A legalacsonyabb hővezetőképesség értékek már nem a hőmérsékleti szélsőség időpontjára, pontosabban a maximum idejére esnek, hanem a késő délutáni, vagy esti órákban alakulnak ki. A kiszáradás folyamata ugyanis eddig a napszakig tart.

Érdeklődésként említhető meg az, hogy a hővezetőképességben csak addig a mélységig található rendszeres napi változás, ameddig a napi hőhullám lehatal. E szint alatti változások már igen csekélyek s ezeknek okai is eltérőek a felső rétegekben uralkodó törvényszerűségektől.

### Összefoglalás

1. A Stålhane és Pyk egyenlete szerint egy lineárisnak tekinthető hőforrás alkalmas arra, hogy környezetének hővezetőképességét a lehűlés nagyságából meghatározzuk.

2. Mivel az állandó erősségű fűtőáram a mérőszondában a környezet hővezetőképességétől függő hőmérsékletemelkedést vált ki, ezért a bekövetkezett hőmérsékletemelkedés arányos a környezet hővezetőképességével.

*Érkezett: 1964. március 15.*

### Irodalom

- [1] ALBRECHT, F.: Ein Messgerät für die Messung des Wärmeumsatzes im Erdboden. *Met. Z.* 294—299. 1932.
- [2] BLACKWELL, J. A.: A transient-flow method for determination of thermal constants of insulating materials in bulk. *J. Appl. Phys.* 25. 137—144. 1954.
- [3] BUETTNER, K.: Local variability of thermal conductivity. In: Lettau, H. — Davidson, B.: *Exploring the Atmosphere's First Mile.* Pergamon Press. London. I. 46—49. 1957.
- [4] DI GLÉRIA, J., KLIMES-SZMIK, A. & DVORACEK, M.: *Talajfizika és talajkolloidika.* Akadémiai Kiadó. Budapest. 1957.
- [5] VAN DER HELD, E. F. M. & VAN DRUNEN, G. F.: A method for measuring the thermal conductivity of liquids. *Physica.* 15. 865—881. 1949.
- [6] KOITZSCH, R.: Versuche zur Bestimmung des Wassergehaltes des Erdbodens auf thermischer Grundlage. *Abh. Met. Hydr. Dienstes DDR.* 3. (54) 1960.
- [7] SEELIGER, R.: Die Abkühlung heisser Körper in Gasen und Flüssigkeiten. *Phys. Z.* 26. 282—295. 1925.
- [8] DE VRIES, D. A.: A nonstationary method for determining thermal conductivity of soil in situ. *Soil Sci.* 73. 83—89. 1952.

### Измерение суточного изменения теплопроводности почвы

Г. САС

Сельскохозяйственный вуз, г. Дебрецен (Венгрия)

### Резюме

Для почвенно-климатологических исследований необходимо было сконструировать такой прибор, с помощью которого можно было бы определять непосредственно термо-физические свойства почв. Для этого был сконструирован прибор, принцип действия которого заключается в следующем: повышение температуры от линейного источника тепла пропорционально температуре источника тепла, а также теплопроводности окружающей среды. Естественно, что в ходе вычислений необходимо принимать во внимание и прочие факторы. Таким образом, чем выше теплопроводность окружающей среды,

т. е. отдача энергии, тем меньше повышается в ней температура. (рис. 1, 2.). На основании этих принципов построили прибор, для измерения теплопроводности, схема включения которого приводится на рис. 3, устройство измерительного зонда показано на рис. 4. Этим прибором проводили измерения теплопроводности в почве, имеющей гомогенную температуру, а также при различных температурных градиентах. Экспериментальное оборудование, служащее для получения температурных градиентов, а также распределение возникающей температуры в исследуемых почвенных образцах показаны на рис. 5. Наши наблюдения показали, что при наличии температурных градиентов прибор для измерения теплопроводности с игольчатым зондом дает более достоверные результаты, чем ранее использованный измеритель теплопроводности конструкции Альбрехта. У последнего направление температурного градиента в известной степени влияет на направление распространения тепла. Эти выводы подтверждены экспериментальными измерениями (рис. 6, 7). Калибровка прибора возможна методом, использованным Зеллигером (7) (Seeliger). Прибор пригоден и для полевых исследований. Источником энергии является сухая батарея с напряжением 4,5 вольт. На рис. 8 показано суточное изменение теплопроводности почвы, полученное нами при испытании прибора.

*Рис. 1.* Кривая нагрева и остывания зонда с электрическим нагревателем.

*Рис. 2.* Нагревание песка с различной влажностью при одинаковых количествах тепла. (1) Воздушно-сухой морской песок. (2) Морской песок с влагоемкостью 50%. (3) Морской песок при влажности равной максимальной влагоемкости.

*Рис. 3.* Схема включения прибора для измерения теплопроводности.  $R_c$  = сопротивление при калибровании,  $R_M$  = сопротивление нагревателя измерительного зонда.  $K_1$  = включатель батареи питания.  $K_2$  = включатель измерительного зонда.  $P$  = потенциометр.  $R_s$  = шунт,  $t, t'$  = точки сварки термоэлементов.

*Рис. 4.* Схема поперечного разреза измерительного зонда. 1: втулка зонда. 2: нагревательная обмотка. 3: Электроизоляция между обмотками нагревания и термоэлементами. 4: Провода термоэлементов. 5: Точки сварки термоэлементов. 6: Проводник тепла. 7: Головка присоединения зонда.

*Рис. 5.* Верхняя часть: схема оборудования, служащего для получения температурного градиента. а) нагреватель, в) измеритель, с) охлаждающая жидкость, d) нагревающая жидкость. W) морской песок, f) зонд, g) (холодный, h) теплый. Нижняя часть: Температуры в точках измерения. x: точки измерения. g) холодный, h) теплый.

*Рис. 6.* Поперечный разрез изотермических поверхностей морского песка с гомогенной температурой. (A), поперечный разрез изотермических поверхностей при температурных градиентах. (B).

*Рис. 7.* Изменение температуры на расстоянии 1 см. от нагревательной обмотки, на холодной и теплой сторонах. (верхняя кривая — теплая сторона, нижняя кривая — холодная сторона).

*Рис. 8.* Суточный ход теплопроводности на различных глубинах.

## Die Messung der täglichen Veränderung des Boden-Wärmeleitfähigkeit

G. SZÁSZ

Hochschule für landwirtschaftliche Wissenschaften, Debrecen (Ungarn)

### Zusammenfassung

Für bodenklimatologische Untersuchungen war ein Apparat zu konstruieren, mittels welchen diese thermophysische Eigenschaft des Bodens durch unmittelbare Messung bestimmt werden kann. Der Apparat beruht auf dem folgenden Prinzip: Die entlang einer linearen Wärmequelle auftretende Temperatursteigerung steht in geradem Verhältnis zur Temperatur der Wärmequelle sowie zum Wärmeleitvermögen der Umgebung. Im Verlaufe der Berechnungen müssen natürlich auch andere Faktoren mit berücksichtigt werden. Demnach löst die Umgebung eine desto geringere Temperaturerhöhung aus, je besser ihr Wärmeleitvermögen ist (Abb. 1 und 2). Unter Anwendung dieses Prinzips wurde der Wärmeleitungs-Messapparat erbaut, dessen Schalt-schema in der Abb. 3. vorgestellt wird, während die Abb. 4. über den strukturellen Aufbau der Messsonde Aufschluss erteilt. Mit dem Apparat wurden Messungen in Böden von homogener Temperatur sowie in solchen Fällen vorgenommen, bei denen im Boden Temperaturgradienten bestanden. Die zur Ausbildung des Temperaturgradienten dienende Versuchseinrichtung sowie die in der untersuchten Bodenprobe entstandene Temperaturverteilung wird in der Abb. 5. veranschaulicht. Nach unseren Feststellungen liefert der Nadelsonde — Wärmeleitfähigkeitsmesser

bei Bestehen von Temperaturgradienten verlässlichere Messergebnisse als der früher gebrauchte Allrechtsche Wärmeleitfähigkeitsmesser, da beim letzteren Apparat die Richtung der Wärmeverbreitung zwischen gewissen Grenzen von der Richtung des Temperaturgradienten beeinflusst wird. Diese Feststellung wurde durch unsere experimentellen Messungen bestätigt (Abb. 6. und 7.). Das Eichen des Apparates erfolgt mit der Methode von Seeliger (7). Die Messeinrichtung eignet sich auch zu Terrainmessungen. Ihre Energiequelle bildet ein 4,5 V Trockenelement. Von den Versuchsmessungen wird ein Beispiel über den Tagesverlauf des Wärmeleitfähigkeits vorgestellt (Abb. 8.).

*Abb. 1.* Die Erwärmungs- und Abkühlungskurve der elektrisch heizbaren Sonde.

*Abb. 2.* Die bei gleicher Heizenergie eingetretene Erwärmung auf Sand von verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt. 1: Lufttrockener Meeressand. 2: Meeressand von 50%iger Wasserkapazität. 3: Meeressand von maximaler Wasserkapazität.

*Abb. 3.* Schaltschema des Wärmeleitfähigkeitsmessers  $R_c$  — Eichwiderstand,  $R_m$  — Heizwiderstand der Spannungssonde,  $K_1$  — Schalter der Nöhreinheit,  $K_2$  — Schalter der Spannungssonde,  $P$  — Potentiometer,  $R_s$  — Shunt,  $t, t'$  — Lötstellen des Thermoelements.

*Abb. 4.* Skizze des Querschnittes des Messsonde. 1: die Sondenscheide, 2: Heizspirale, 3: elektrische Isolation zwischen Heizspirale und Thermoelement, 4: die Leitung des Thermoelements, 5: die Lötstelle des Thermoelements, 6: Wärmebeförderungsmedium, 7: Anschlusskopf der Sonde.

*Abb. 5.* Oberer Teil: Schematische Darstellung der Einrichtung zur Ausbildung des Temperaturgradienten. *a)* Heizeinheit, *b)* Messeinheit, *c)* Kühlflüssigkeit, *d)* Heizflüssigkeit, *e)* Meeressand, *f)* Sonde, *g)* kalt, *f)* warm. Unterer Teil: Die Temperaturwerte in den Messpunkten. *x:* Messpunkte. *g)* kalt, *h)* warm.

*Abb. 6.* Querschnitt der Isothermenflächen in Meeressand von homogener Temperatur (A) Querschnitt der Isothermenflächen im Falle eines Temperaturgradienten (B).

*Abb. 7.* Die Veränderung der Temperatur auf eine Entfernung von 1 cm auf der kalten und warmen Seite. (Obere Kurve: warme Seite, untere Kurve: kalte Seite).

*Abb. 8.* Der Tagesgang des Wärmeleitfähigkeits in verschiedenen Tiefen.