



Hőfelvételek és interpolációs eljárások alkalmazhatósága komposztprizmák felszíni hőmérsékletének vizsgálatára

Hunyadi G., Tamás J.

Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma, Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék
4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

ÖSSZEFOGLALÁS

A szennyvíziszap-komposztálás jelenleg a legelfogadhatóbb hulladékártalmatlanítási eljárás, hiszen a biológiai degradáció során a mezőgazdasági tápanyag-gazdálkodásban felhasználható végterméket nyerünk. A kapott komposzt felhasználhatósága érettségétől függ. A leggyakrabban alkalmazott eljárás a komposztérettség meghatározására a hőmérséklet mérése, és nyomon követése. Ebben az esetben a komposzt halom belsejében lévő hőmérsékletet mérik, a vizsgálat nem terjed ki a felszín hőmérsékletére. A felszíni hőmérséklete mérése lehetőséget ad az érettség meghatározása mellett a prizma homogenitásának ellenőrzésére, az eltérő hőmérsékletű foltokban lejátszódó folyamatok elemzésére. A vizsgálatok célja a hőkamerával készített felvételek, valamint a helyszíni pontmérések interpolálása után kialakított hőeloszlás-görbék összehasonlítása volt, a felvett pontsűrűség függvényében.

(Kulcsszavak: komposztálás, interpolálás, hőfelvétel, érettség)

ABSTRACT

Applicability of thermal images and interpolation methods to examine the surface-temperature of compost prisms

G. Hunyadi, J. Tamás

University of Debrecen, Centre of Agricultural Sciences and Engineering
Department of Water and Environmental Management, H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

Composting of sewage sludge is actually the most applicable waste treatment technology because the biological degradation gives us a final product which can be used as organic fertilizer in crop production. The utilization of the given compost depends on its maturity. The mostly used method to determine the maturity is temperature measurements. In this case they usually measure the inner temperature of the compost prism but the temperature of the surface is not analysed. The measurement of the surface-temperature next to the determination of the maturity may give the possibility to examine the homogeneity of the prism and analyse the biological processes in different points. The aim of this paper is the comparison of thermal images and potentiometric graphs made after on-sight measurements according to the density of the sampling points.

(Keywords: composting, thermal images, interpolation, maturity)

BEVEZETÉS

A komposztálás nem pusztán hulladékártalmatlanító eljárás, hanem célja egy olyan stabil végtermék kinyerése, amely kedvező tulajdonságai révén felhasználható a mezőgazdasági termelés tápanyagkörforgalmában (Kanat et al., 2006; Banegas et al., 2007).

Ahhoz, hogy a 36/2006 (V.18.) FVM rendeletben foglalt minőségi követelményeknek megfelelő komposztvégterméket kapjunk számos, a lebontási folyamatot befolyásoló paraméter beállítására van szükség.

Az alapanyagok helyes megválasztása, a beállított keverék homogenitása, szemcse-eloszlása, C/N aránya, nedvességtartalma, szervesanyag-tartalma, pH-ja, valamint hőmérséklete hatással van a degradációs folyamatokra, ezáltal kihat a komposzt-végtermék tulajdonságaira is (Ebstein, 1996; Guardia et al., 2008; Ponsá et al., 2009).

A komposztok felhasználhatósága érettségüktől, stabilitásuktól függ. (Mathur et al., 1993). A komposztok eltérő érettsége azon alapul, hogy a különböző összetevők hogyan cserélődnek ki, főleg az oldható komponensek - az oldható szén, az oldható frakció C/N és respirációs hányada (Golueke, 1986).

A stabilitás meghatározására több módszer terjedt el: szervesanyag-tartalom meghatározása, C/N arány, növényi növekedési (fitotoxicitás) tesztek, ökotoxicitás meghatározása (Daphnia-, hal-, algateszt), huminsav és fulvosav arány, sókoncentráció, NH₄/NO₃ arány, poliszacharid-tartalom, mikroba aktivitás, (ATP mérés), redoxpotenciál, kationcsere kapacitás, oxigénfogyasztás és szén-dioxid termelés, respirometria, érettségi fok (Mathur et al., 1993; Kovács et al., 2007).

A komposzt érettségéről a legmegfelelőbb képet az önhevülési teszt, valamint a fogyott oxigén és termelődött széndioxid mérése adja (Adas, 2003). Ezek a tesztek, illetve mérések azonban laboratóriumi körülmények között valósíthatók meg, így nem adnak pontos képet a komposztprizmában lezajló folyamatokról.

A komposztprizmában közvetlenül a lebomlási folyamat nyomon követésére, valamint az érettség ellenőrzésére leggyakrabban alkalmazott módszer a hőmérséklet mérése. (Bernal et al., 1998; Smith and Hughes, 2004).

Korábbi kísérleteink során bebizonyítottuk, hogy a nyílt prizmás komposztálási technológia során kialakított komposztprizma hőmérsékleti rétegződése alapján három rétegre tagolható: a prizma legbelsőbb részében kialakuló úgynevezett magzónára, a felszínén kialakuló kéregre, illetve a két réteg között kialakuló, viszonylag kiegyenlített hőmérsékletű zónára (Hunyadi et al., 2008). A cél mind a hőmérséklet, mind a degradációs folyamatok szempontjából homogén prizma kialakítása, melynek révén a prizma egészében azonos bomlási körülmények jellemzőek.

A hőmérséklet-mérés során leggyakrabban a prizma belső hőmérsékletét mérik, a felületi hőmérséklet mérése nem valósul meg (Nakasaki és Othaki, 2002).

A felszíni hőmérséklet mérése képet adhat egyrészt a lebomlási folyamat hatékonyságáról, másrészt a prizma homogenitásáról, valamint a keletkező gázok és vízpára keletkezési helyéről. Az eltérő hőmérsékletű pontok vizsgálata segítséget nyújthat az eltérő bomlási folyamatok elemzésére is.

Kutatásaink során egy szennyvíziszap-repceszár keverékből kialakított nyílt prizmás komposztálási technológiát vizsgáltunk. A vizsgálatok során a prizma felszínéről készítettünk hőfelvételeket hőkamera segítségével, valamint helyszíni méréseket végeztünk a felszín különböző pontjain.

A vizsgálatok célja a hőkamerával készített felvételek, valamint a helyszíni pontmérések interpolálása után kialakított hőeloszlás-görbék összehasonlítása a felvett pontsűrűség függvényében.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kutatásunk során az A.K.S.D. Városgazdálkodási Kft. debreceni komposztáló telepén beállított, nyílt prizmás komposztálási technológiát vizsgáltunk. Az általunk vizsgált

prizma 50% szennyvíziszapot, valamint 50% repceszárat tartalmazott. A prizma felszíni hőmérsékletét a teljes degradáció folyamán vizsgáltuk, az ábrák a lebomlás középső szakaszába, a 8 hetes érési idő felénél, azaz 4 hetes degradációs stádiumban szemléltetik a prizma állapotát. A prizma 40 m hosszú, 2,5 m széles és 2 m magas volt.

A hőfelvételek készítésére HEXIUM gyártmányú PYROLATER-12 termokamerát alkalmaztunk. A kamera külső acél tokjában egy 7800 elem (320×240-es rácselrendezésű) hűtést nem igénylő mikroblométer szenzor található. Az érzékenysége átlagosan 0,05 °C. Mérési tartománya -20 és 120 °C közötti, de optimális működési hőmérséklete -25 és 60 °C között van (Nagy, 2005).

A kamera működése akkor optimális, amikor a környezeti hőmérséklet alacsonyabb az eszköz, valamint a vizsgálandó anyag hőmérsékleténél.

A helyszíni méréseket EBRO TFI 200 típusú infravörös hőmérővel végeztük. A hőmérő mérési tartománya -35 és 365 °C közötti, de optimális működési hőmérséklete 0-51 °C. pontossága 0,2 °C.

A helyszíni mérések során egy adott prizma szelvényt (3 és 7 m között) különböző pontsűrűséggel elemeztünk, hogy vizsgálhassuk az eltérő pontsűrűség interpolálásra gyakorolt hatásait.

A pontfelvételezésnél 3 alapesetet vizsgáltunk: egy prizmaszekció teljes vizsgálata 102 ponttal, ritkább felvételezéssel (34 pont), valamint egy eltérő hőmérsékletű folt vizsgálata sűrű pontfelvételezéssel (20 mérési ponttal).

A mért hőmérsékleti értékekből izovonalas eloszlásgörbét készítettünk Surfer 9 2,5 dimenziós szoftver segítségével, majd vizsgáltunk, hogy az eltérő interpolációs eljárásokkal kapott képek mennyiben egyeznek meg a termokamera segítségével készített felvétellel.

Az izovonalas eloszlások elkészítéséhez a rendelkezésre álló szoftver alapján 3 interpolációs eljárást alkalmaztunk. Az interpolálás egy matematikai közelítő módszer, amely során ismert pontok segítségével képezünk valamilyen összefüggés segítségével a pontok között elhelyezkedő ismeretlen pontokat (Lam, 1983; Cressie, 1993; Li és Révész, 2004). Az alkalmazott interpolációs eljárások a „nearest neighbour” (legközelebbi szomszéd) a „moving average” (mozgó átlag) és a „kriging” (krigelés) volt.

A legközelebbi szomszéd eljárás minden egyes újonnan képezett ponthoz a legközelebb eső pontot veszi alapul. Akkor alkalmazható, ha a pontok egyenletes eloszlásúak, de van néhány hiányzó érték, ami pótlásra szorul (Maltamo és Kangas, 1998, LeMay és Temesgen, 2005)

A mozgó átlag interpolációs eljárás alapja a távolsággal súlyozott átlag. Rendszerint fokozatosan változó interpolált felületet eredményez, azonban csak nagy adatbázisnál ad megfelelő eredményt, ha az adatok mennyisége csökken az interpolált felület erősen változik. (Li és Révész, 2002; Moon és Kim, 2007)

A krigelés a paramétereknek ismeretlen pontban, geostatistikai alapokon nyugvó meghatározására alkalmas a környező mérések alapján. A módszer alapvetően egy súlyozott átlagszámítás, ahol az alkalmazott átlagszámítási súlyokat geostatistikai alapokon, variogramfüggvények segítségével határozhatjuk meg (Shepard, 1968; Oliver és Webster, 1990; Atkinson és Lloyd, 2007)

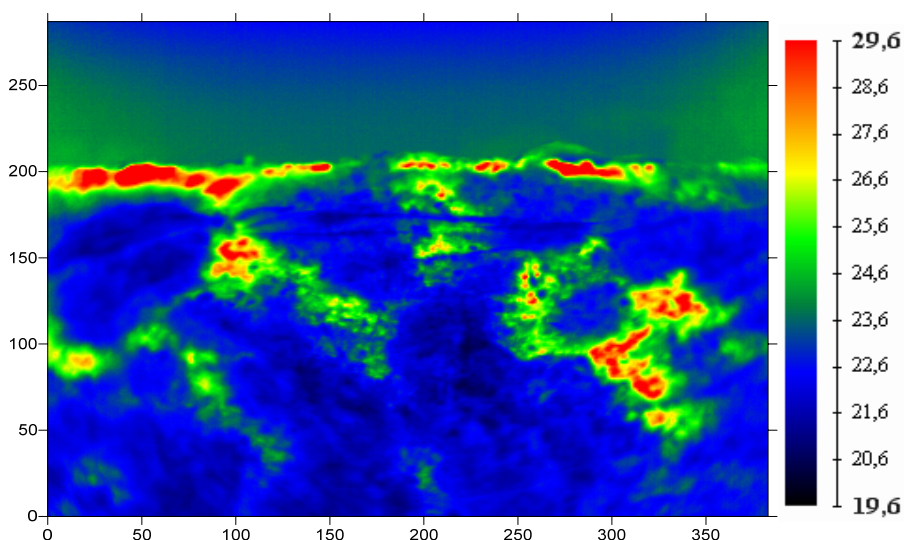
EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

A vizsgált prizmáról az 1. ábrán látható hőképet kaptuk. A vizsgált prizma felületének hőmérsékletében igen erős változatosság figyelhető meg. A prizma felső részén

magasabb volt a hőmérséklet a távozó meleg vízpárának és gázoknak köszönhetően. (A prizma tetejét fehér vonal jelzi). A prizma vizsgált szekciójában a felületen is kialakultak eltérő hőmérsékletű góccok, melyek további vizsgálatok elvégzésére adhatnak okot. A különböző interpolációs eljárásokkal kapott görbéket a készített hőfelvétellel vetettük össze. Az összehasonlítás számszerűsítésére nem volt lehetőség, ugyanis a hőfelvételek nem tartalmaznak metaadatokat.

1. ábra

A prizma felszínéről készített hőfelvétel



Picture 1: Thermo-image of the prism-surface

A teljes prizmaszekció sűrű pontfelvételezését követően a három különböző módszerrel interpolált eloszlásgörbék hőképpel összefésült hőeloszlás-térképeit mutatja a 2/a, 2/b és 2/c ábra.

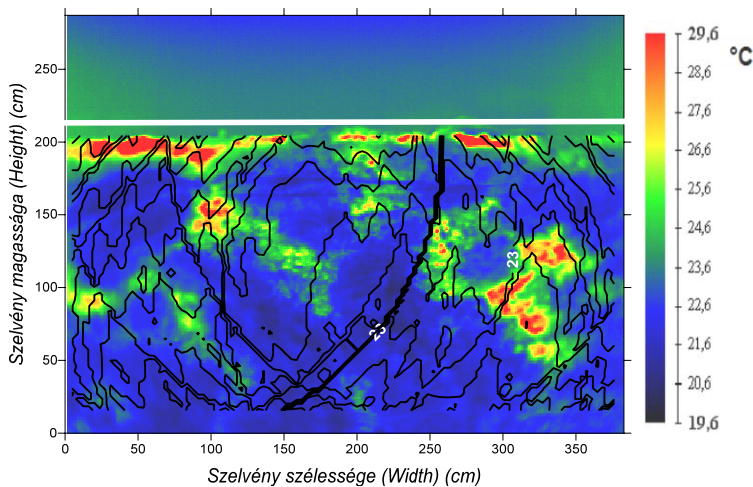
A kapott eloszlásfüggvények közül a mozgó átlag módszerrel interpolált felület még ekkora pontsűrűség mellett is eltér a hőkamerával készített eloszlástól. Ennek megfelelően a többi alapesetben nem volt értelme a mozgó átlag interpolációs módszer alkalmazásának, hiszen kevesebb mérési pont állt rendelkezésünkre.

A legközelebbi szomszéd interpolációs eljárással készített, méhsejt-szerkezetre emlékeztető felület hasonló pontokban mutat magas hőmérsékletet, azonban nem ad számunkra elfogadható eredményt, hiszen a legtöbb esetben jelentősen eltérnek a különböző hőmérsékletű foltok határvonalai.

A 2/c ábrán található krigeléssel elkészített potenciometrikus felület hasonló eloszlást mutat, mint a hőfelvétel, ráadásul a jellemző határvonalak megegyeznek. Vizsgáltuk, hogy hasonló képet kapunk-e, ha a sűrű pontfelvételezés helyett ritkább pontfelvételezéssel mért hőmérsékleti értékeket interpolálva készítünk potenciometrikus felületeket (3/a és 3/b ábra).

2/a. ábra

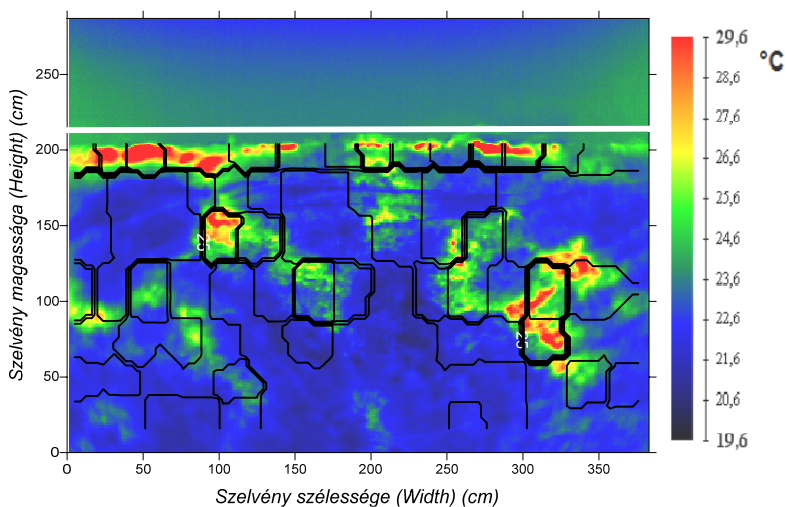
„Mozgó átlag” interpolálással készült felület és hőkép összefésülése a prizmaszekció teljes felvételezését követően



Picture 2/a: Overlay map of thermo-image and moving average interpolation when the whole surface was measured

2/b. ábra

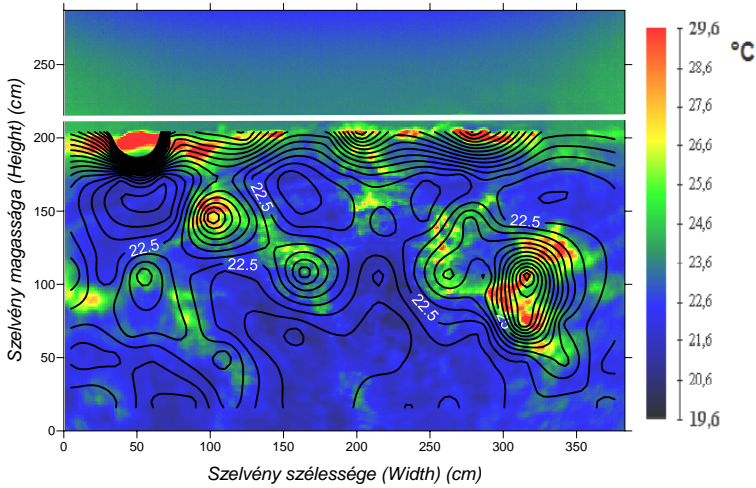
„Legközelebbi szomszéd” interpolálással készült felület és hőkép összefésülése a prizmaszekció teljes felvételezését követően



Picture 2/b: Overlay map of thermo-image and nearest neighbour interpolation when the whole surface was measured

2/c. ábra

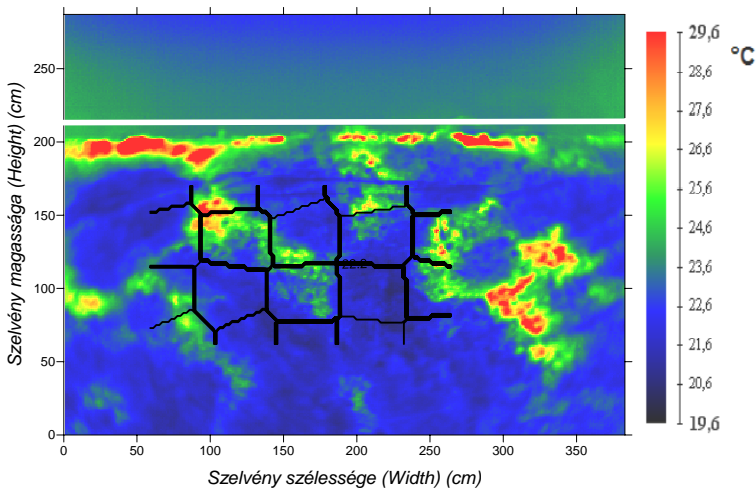
**Krigelással készült felület és hőkép összefésülése
a prizmaszekció teljes felvételezését követően**



Picture 2/c: Overlay map of thermo-image and kriging interpolation when the whole surface was measured

3/a. ábra

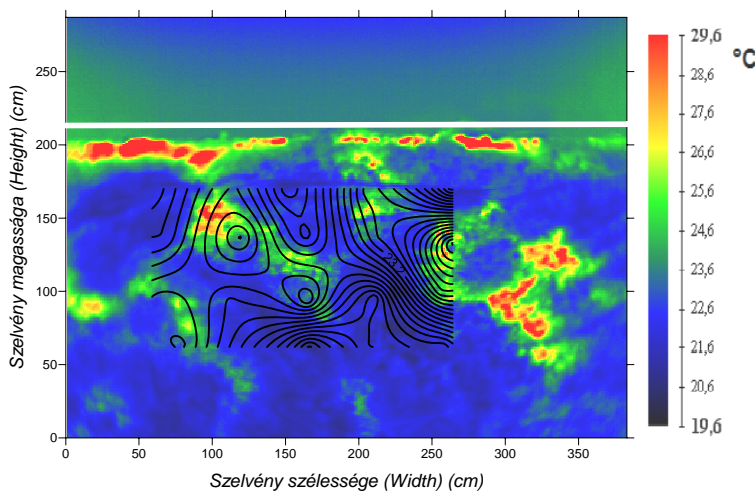
**„Legközelebbi szomszéd” interpolálással készült felület és hőkép összefésülése
a prizmaszekció ritka pontfelvételezését követően**



Picture 3/a: Overlay map of thermo-image and nearest neighbour interpolation when rare point-distribution was set

3/b. ábra

**Krigeléssel készült felület és hőkép összefésülése
a prizmaszekció ritka pontfelvételezését követően**



Picture 3/b: Overlay map of thermo-image and kriging interpolation when rare point-distribution was set

A ritkább pontfelvételezés még nagyobb eltérést eredményezett a legközelebbi szomszéd interpolációs eljárással kapott felület, valamint a hőkép hőmérsékletértékei között. Az alkalmazott interpolációs eljárás csak sűrű pontfelvételezés mellett alkalmazható.

A krigeléssel előállított felület csak közelítve esik egybe a kőképen látható eltérő hőmérsékletű foltokkal. Azokban a pontokban, ahol a hőértékek között az eltérés kicsi a potenciometrikus felület torzít a valósághoz képest.

A harmadik esetben egy magasabb hőmérsékletű foltot mintáztunk nagyobb pontsűrűséggel, hogy vizsgáljuk a tényleges eloszlás és a potenciometrikus felület közötti eltérést (4/a, 4/b ábra).

Egy meghatározott folt sűrű pontfelvételezését követően legközelebbi szomszéd módszerrel készített felület hasonló eloszlást mutat, mint a tényleges eloszlás, de a határvonalak tökéletes elkülönítéséhez még ennél is sűrűbb pontfelvételezésre van szükség.

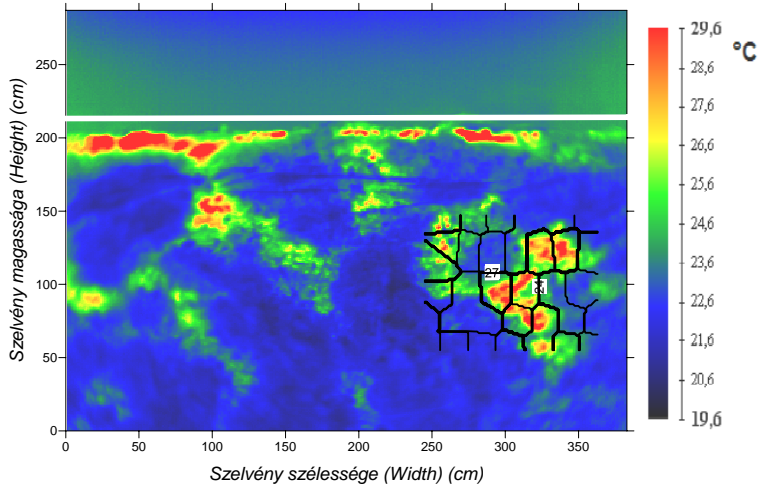
A krigeléssel előállított potenciometrikus felületek sűrű pontfelvételezés esetén szinte a valósággal megegyező eloszlást mutatnak.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A helyszíni pontszerű mérések helyett sokkal kedvezőbb a hőfelvételek készítése. Ahhoz, hogy pontszerű mérésekből elfogadható felületet interpolálhassunk nagy mennyiségű mintaszámra és mérésre van szükség. A pontfelvételezés időigényes, a mintaszám növelése a mérési pontatlanságot is növeli.

4/a. ábra

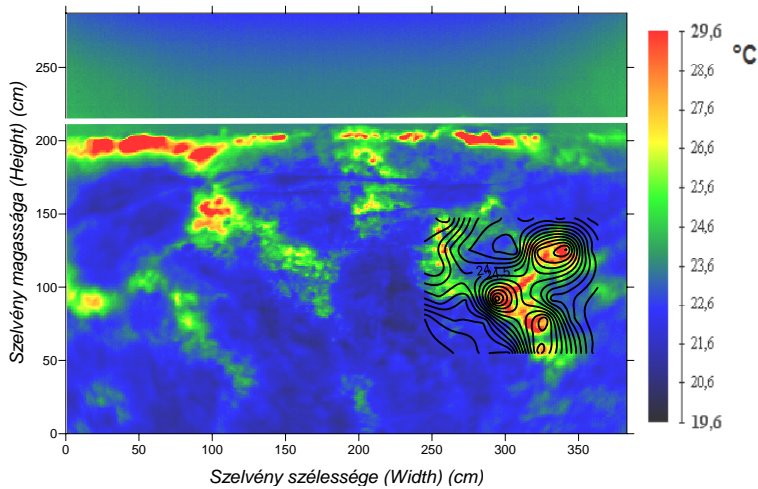
„Legközelebbi szomszéd” interpolálással készült felület és hőkép összefésülése egy kiemelt folt felvételezését követően



Picture 4/a: Overlay map of thermo-image and nearest neighbour interpolation in a highlighted point

4/b. ábra

Krigeléssel készült felület és hőkép összefésülése egy kiemelt folt felvételezését követően



Picture 4/b: Overlay map of thermo-image and kriging interpolation in a highlighted point

A hőfelvétel egy időben ad képet a prizma felszíni hőmérsékletében fellépő különbségekről, az eltérő lebomlási folyamatokról, valamint a prizma homogenitásáról.

Az alkalmazott interpolációs eljárások közül a mozgó átlag módszer nem alkalmazható, csak nagyobb pontsűrűséggel nyert adatok esetében. Hasonló az eredmény a legközelebbi szomszéd interpolációs eljárás során is.

A három interpolációs eljárás közül a krigelés hozta a legelfogadhatóbb eredményt. Viszonylag ritka pontsűrűség mellett is a valósághoz közelítő eredményt hozott, nagyobb mintaszám esetében szinte teljesen megegyezett a tényleges eloszlással.

A hőkamera alkalmazásának hátránya a magas beruházási költség, viszont nincs szükség a felvételezést követően további szoftveres feldolgozásra, illetve használata nem igényel szakértelmet.

Összességében elmondható, hogy a hőkamera alkalmazása kedvezőbb, hiszen azonnali beavatkozásra ad lehetőséget, ráadásul nagyobb felület analizésére nyílik lehetőség. A krigelést, mint interpolációs eljárást olyan esetekben célszerű alkalmazni, amikor egy eltérő hőmérsékletű folt feltáró vizsgálatára van szükség, illetve, ha a komposztprizma belső hőmérsékletének eloszlását szeretnénk meghatározni.

IRODALOM

- ADAS (2003). Assessment of Options and Requirements for Stability and Maturity Testing of Compost, Technical Report. ADAS Consulting Ltd. Banbury, Oxon, UK.
- Atkinson, P.M., Lloyd, C.D. (2007). Non-stationary variogram models for geostatistical sampling optimisation: An empirical investigation using elevation data. In: *Computers & Geosciences*. 33. 1285–1300. p.
- Banegas, V., Moreno, J.L., Moreno, J.I., García C., León G., Hernández T. (2007). Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. *Waste Management*. 27. 1317–1327. p.
- Bernal, M.P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A., Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. In: *Bioresource Technology*. 63. 91–99. p.
- Cressie, N.A.C. (1993). *Statistics for spatial data*, revised edition. Toronto : Wiley-Interscience Publication.
- Ebstein, E. (1996). *The science of composting*, Tetra Tech, Inc., Stoughton, Massachusetts, USA. 504. p.
- Golueke, G.G. (1986). Compost research accomplishments and needs. In: *BioCycle*. 27. 4. 40–43. p.
- Guardia, A.D., Petiot, C., Rogeau, D., Druilhe, C. (2008). Influence of aeration rate on nitrogen dynamics during composting. In: *Waste Management*. 28. 575–587. p.
- Hunyadi, G., Bíró, T., Tamás, J., Csatári, G. (2008). Examination of the temperature distribution of compost prisms according to the recipe and the retention time. In: *Acta Agraria Debreceniensis. Supplement*. 283–287. p.
- Kanat, G., Demir, A., Ozkaya, B., Bilgili, M.S. (2006). Addressing the operational problems in a composting and recycling plant. *Waste Management*. 26. 1384–1391. p.
- Kovács, D., Rózsáné Szűcs, B., Füleky, Gy. (2007). Komposztok érettségének meghatározása oxigénfogyasztás, szén-dioxid termelés mérésével és önhevülési teszttel. In: *Agrokémia és talajtan*. 56. 301–316. p.
- Lam, N.S. (1983). Spatial interpolation methods: a review. In: *The American Cartographer*. 10. 2. 129–149. p.

- LeMay, V., Temesgen, H. (2005). Comparison of nearest neighbor methods for estimating basal area and stems per ha using aerial auxiliary variables. In: Forest Science. 51. 2. 109–119. p.
- Li, L., Revesz, P. (2002). A comparison of spatio-temporal interpolation methods. In M. Egenhofer, & D.Mark (Eds.), Proc. of the Second International Conference on GIScience 2002. Vol.2478 of Lecture Notes in Computer Science. 145–160. p.
- Li, L., Revesz, P. (2004). Interpolation methods for spatio-temporal geographic data. Computers, In: Environment and Urban Systems. 28. 201–227. p.
- Maltamo, M., Kangas, A. (1998). Methods based on k-nearest neighbor regression in the prediction of basal area diameter distribution. In: Canadian Journal of Forest Research. 28. 1107–1115. p.
- Mathur S. P.-Owen G.-Dinel H.-Schinitzer M. (1993): Determination of Compost Biomaturity I. Literature Review. In: Biological Agriculture and Horticulture. 10. 65-85. p.
- Moon, Y. S., Kim, J. (2007):Efficient moving average transform-based subsequence matching algorithms in time-series databases. In: Information Sciences. 177. 5415–5431. p.
- Nagy, T. (2005). A termokamera, avagy a csörgőkígyó stratégiája II. Tanulmány a Hexium Műszaki Fejlesztő Kft. részére.
- Nakasaki, K., Othaki, A. (2002). A Simple Numerical Model for Predicting Organic Matter Decomposition in a Fed-Batch Composting Operation. In: Journal of Environmental Quality. 31. 3. 997-1003. p.
- Oliver, M.A., Webster, R. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. In: International Journal of Geographical Information Systems. 4. 3. 313–332. p.
- Ponsá, S., Pagans, E., Sánchez, A. (2009). Composting of dewatered wastewater sludge with various ratios of pruning waste used as a bulking agent and monitored by respirometer. In: Biosystems Engineering. 102. 433 – 443 p.
- Shepard, D.(1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data. In Proc. 23rd National Conference ACM. 517–524. p.
- Smith, D.C., Hughes, J.C. (2004). Changes in maturity indicators during the degradation of organic wastes subjected to simple composting procedures. In: Biology and Fertility of Soils. 39. 280–286. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Hunyadi Gergely

Debreceni Egyetem, Agrár és Műszaki Tudományok Centruma

Mezőgazdaságtudományi Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék

4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

University of Debrecen, Centre of Agricultural Sciences and Engineering

Faculty of Agriculture, Department of Water and Environmental Management

H-4032 Debrecen Böszörményi 138.

Tel.:+36-52-508-444/88275

e-mail: ghunyadi@gissserver1.date.hu