

A művelésből származó talajfelszín-egyenetlenség mérésének új módszere

Blahunka Zoltán – Dr. Faust Dezső, SZIE Gépészmérnöki Kar

A termőtalajok olyan komplex rendszerek, amelyekben az élő és élettelen alkotók szoros kölcsönhatása érvényesül. A termőtalaj az emberiség egyik legmeghatározóbb és sajátos erőforrása, amely csak korlátozott mértékben áll rendelkezésre. Ez is magyarázza, hogy védelme, termőképességének fokozása és megmunkálásának hatékonyabbá tétele érdekében hosszú idő óta folynak kutatások, vizsgálatok.

Cikkünk a művelésből származó talajfelszín egyenetlenség mérésének egy új lehetséges megoldását mutatja be. A felszíni egyenetlenség, vagy hétköznapi nyelven szólva a felszíni rögzesség számos más talajjellemzőre gyakorol hatást. A teljesség igénye nélkül a következőket befolyásolhatja: a levegővel érintkező felület nagyságát; a vízháztartás alakulását (kipárolgás, víz befogadás), (Govers, G. et al. 2000.); a besugárzás mértékét; a talajélet alakulását; a talaj gázemisszió mértékét, a nitrogén-dioxid-, a szén-dioxid- és a metán-kibocsátást (Grosz B. 2010.); a talajerózió és -defláció mértékét, (Blanco, H. et al. 2008.); a felszínen mozgó gépek lengési, rezgési viszonyait (Faust, 2011).

A felsorolt hatások külön-külön és együttesen jelentősek lehetnek. A talajvédelem, a precízebb termelési technológiák kialakítása, a talajművelő szerszámok megalapozottabb fejlesztése egyaránt szükségessé teszi, hogy a mikrofelszín jellemzőit megfelelő szinten mérni és értékelni tudjuk.

Az eddig alkalmazott mérési módszerek értékelése

A művelés során a talajfelszín egyenetlensége jelentősen megváltozik. Minden művelőeszköz sajátos felszínegyenletlenségi mintázatot hoz létre. A művelés irányába és az erre merőleges egyenetlenség eltérő. Ez a mérési megoldásokra és az adatok feldolgozására is kihat.

Egyes műveletek, mint például a szántás, nagymértékben növeli a felszín változatoságát, az ezt követő műveletek viszont a kisebb méretű rögzfrakciók arányát növelik. Ennek következtében egyenletesebb, simább, kevésbé változatos felszín alakul ki.

Az egyes művelési folyamatokkal létrehozott változások, illetve hatások mértékének meghatározása a gép és technológia fejlesztés szempontjából kiemelkedően fontos. A felszíni egyenetlenség jellemzőinek meghatározása azonban korántsem egyszerű feladat. A talajfelszín egyenetlenségét előidéző rögzök mérete, és azok térbeli megjelenése teljesen véletlenszerű. Tehát olyan mérési és értékelési módszere van szükség,

amely a rögzök véletlenszerű méretszerinti alakulásáról, és a szintén véletlenszerű térbeli elhelyezkedésükről elfogadható szintű adatot, információt szolgáltat.

A talajfelszín mérésére a legelterjedtebb eszköz az évtizedek óta használt profilmérő vagy profilográf. (Garcia Moreno, R. et al. 2010.) Sokféle kialakítás létezik, de működési elvük azonos. A keretbe foglalt, függőlegesen elmozgatható, meghatározott osztástávolságra elhelyezkedő pálcák a talaj adott pontjait megérintve lekövetik a mikrodomborzat profilját. Egy-egy pálcza az érintett talaj adott pontjának relatív magasságát méri. A letapogató pálcák felső végpontjai a profil alakulását tükrözik. Ez fényképen is rögzíthető. A kialakult gyakorlat szerint a mérést a művelés irányában végzik.

A leírt mérés eredményei alapján egy statisztikai indexet határoznak meg (RR, Random Roughness). Ez nem más, mint az említett mért magasságok standard szórása a következők szerint:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [h_i - h_{\text{átl}}]^2} \quad (1)$$

ahol:

s – standard szórás,

h_i – az i -edik ponton mért magasság,

$h_{\text{átl}}$ – a mért magasság értékek átlaga,

n – a mérések száma.

Az egy mutatóval jellemzett felszínegyenletlenség kétségtelenül egyszerű. Mivel azonban ez a megoldás nagymértékben elfedi, illetve eltünteti a részleteket, a fejlesztésekhez, minősítésekhez nem ad elegendő információt. Például az ismert index a rögzök térbeli elhelyezkedéséről nem nyújt tájékoztatást. Ennek a hiányosságnak a megszüntetésére több szerző az autokorrelációs függvény alkalmazását is javasolja. Ehhez azonban a magassági adatok mellett a távolsági adatokra is szükség van.

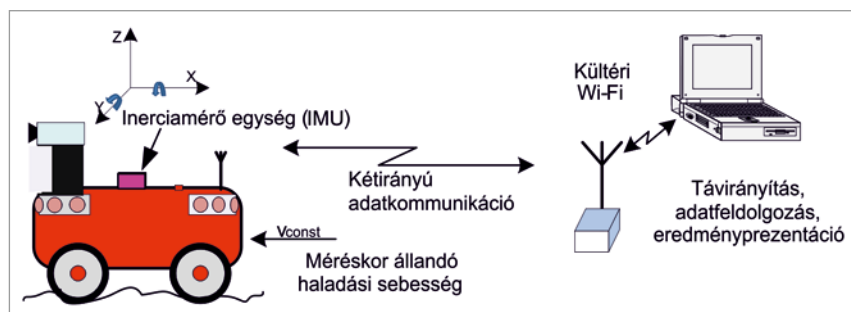
A jelen időszakban is folynak kutatások és fejlesztések a talajfelszín egyenetlenségének pontosabb és hatékonyabb mérésére és értékelésére. Ezek között említhető a **lézeres, a radaros felszínletapogatás, illetve a hagyományos vagy sztereofotók képfeldolgozása**. (Werner Jester, et al. 2005.). Az említett módszerek pontosabb és kiterjedtebb adatokat szolgáltatnak. Elterjedésüket jelenleg a nagy költségük és a jelentős mérés előkészítési idő igényük gátolja.

Az új mérési módszer és mérő rendszere

A Szent István Egyetem Gépészmérnöki Karán a talajegyenletlenség mérésére, az adatok valósidejű statisztikai feldolgozására és az eredmények megjelenítésére olyan megoldást dolgoztunk ki, amely az informatikai entrópia alapú mérésoptimalizálást is magában foglalja.

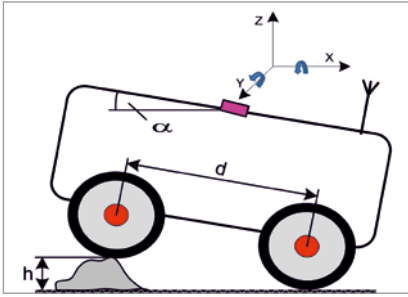
A rendszer főbb alkotói: az inercia mérőegységet (IMU) hordozó mobil robot platform, az irányítást és a feldolgozást végző számítógép, valamint az integrált működést

1. ábra A mérőrendszer vázlata



2. ábra P3-AT típusú mobil robot mérés közben





3. ábra A mobil robot jellemzői az akadályon való áthaladás közben

biztosító vezeték nélküli mérőhálózat. A mérőrendszer vázlatát az 1. ábra mutatja. Felmerülhet a kérdés, hogy az adott feladathoz indokolt-e olyan eszközök használata, amelyek az ábrán szerepelnek. Mivel valamennyi rendszeralkotó univerzális, azaz sok egyéb feladat megoldásánál is alkalmazható, ez a gazdaságosságot kedvezően befolyásolja.

A rendszerben szereplő mobil robot, a mini kategóriába tartozó, és a kereskedelmi forgalomban kapható P3-AT típus. (2. ábra). A mérés során az állandó sebességgel haladó négykerék-hajtású merev felfüggesztésű robot hordozófelületének billenéseit, a talaj egyenetlenségei idézik elő. A robot platformján elhelyezett ADIS 16360BMLZ típusú érzékelő egység az X, Y, Z koordinátatengelyek mentén a gyorsulást és a szögsebességet méri, (6 szabadságfokú érzékelés). A jellemzők párhuzamos mérésének mintavételezési frekvenciája 100 Hz.

A mobil robot a mért adatokat a saját fedélzeti számítógépén rögzíti, illetve egyidejűleg rádiófrekvencián az irányító, adatfeldolgozó számítógéphez továbbítja.

A talajfelszín egyenetlensége egyrészt a rögök véletlenszerűen változó méretétől, másrészt ezek, szintén véletlenszerű távolságától függ. A vizsgált területen mozgó robot számára a rögök akadályként jelennek meg, amelyeken áthaladva annak kinematikai jellemzői változnak. Ezeknek a változásoknak a nagysága a rögök méretével arányos. Az arányosság mértékét laboratóriumi körülmé-

nyek között, különböző méretű (magasságú) mesterséges akadályok segítségével határoztuk meg. (Blahunka, Faust, 2009.).

Az akadályok, illetve a rögök távolsága a mobil robot kinematikai jellemzőinek változásaiból, a mintavételezési frekvencia és az állandó haladási sebesség figyelembe vételével számítható ki.

Mint minden mérési rendszernél, így itt is, az alkalmazott mérőeszköz behatárolja az alkalmazhatóság tartományát és a pontosságot. Esetünkben ilyen korlátként említhető a mobilrobot tengelytávolsága (d), és részben a szabad has magasság is.

Mérési eredmények és kiértékelésük

A mérés, az adatfeldolgozás és az értékelés főbb fázisait a 3. ábra jelöléseit felhasználva mutatjuk be.

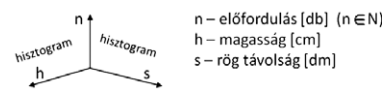
1. A mobilrobot alapjellemtzőinek beállítása, például mérő sebesség stb., pályára állítás és indítás távirányítással.
2. A kinematikai jellemzők ($\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z$) párhuzamos mérése.
3. A platform billenésének meghatározása az Y tengely mentén:

$$\alpha = \int \omega_y dt \tag{2}$$

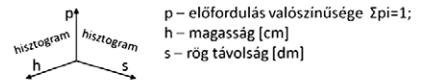
4. Az akadály (rög) magasságának számítása:

$$h = d \times \sin \alpha \tag{3}$$

5. A magasságváltozások távolságának (s), azaz a rög-távolságok számítása.
6. A h és s értékek folyamatos osztályba sorolása. Ez alapján a két jellemző nagyságának előfordulása szerint, folyamatosan változó, „látens” hisztogramok előállítása. Megjegyzés: Az osztályok száma és intervalluma előre rögzített, és minden mérésre vonatkozóan azonos.



7. A 6. pont alapján az osztályok valószínűségi hisztogramjainak előállítása.



A 7. pont szerint előálló adatok alapján megjeleníthető az elemzést, értékelést elősegítő hisztogram. A 4. ábra példaként egy szántott terület felszínegyenetlenségének jellemzőit mutatja.

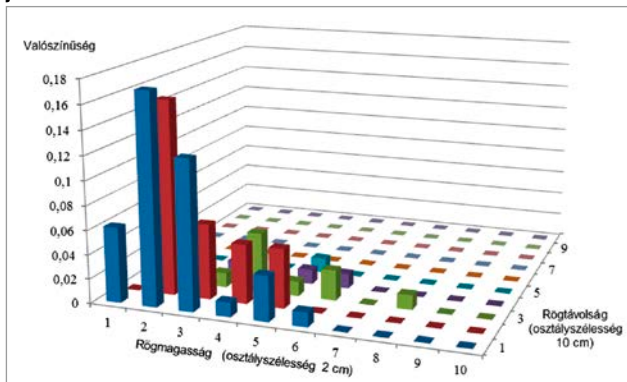
A rendszerünkben egységes, minden mért felszínre azonos osztályképzést használunk. Ez az összehasonlíthatóságot szolgálja. Ilyen módon a hisztogramok jól felhasználhatók arra, hogy számszerűen is értékelni tudjuk, hogy a két alapjellemtző (h és s), miként változik az azonos területen egymást követő talajművelési folyamatok hatására. Az 5. ábra ugyancsak példaként azt szemlélteti, hogy a felszíni egyenetlenség jellemzői miként változtak a 4. ábrán bemutatott szántáson végrehajtott tárcsázás hatására.

Minden olyan mérésnél, ahol a mért jellemzők random módon változatosak, felmerül az a probléma, hogy mennyi ideig történjen a mérés, illetve mennyi mérési adat elegendő a valószínűségi elfogadható szintű statisztikai leképezésére. Ennek a problémának a megoldására az informatikai entrópia (Shannon, Weaver, 1949), újszerű alkalmazását munkáltuk ki. Ennek eredményeként entrópia-alapú mérés-optimalizációs módszerhez jutottunk.

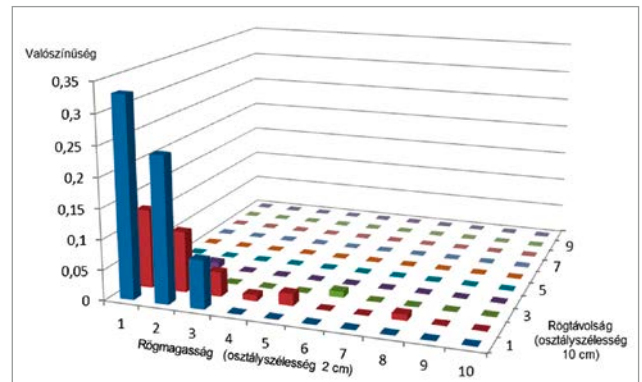
Az entrópia a tudomány fontos fogalma, ami a fizikai rendszerek rendezetlenségének a mértékét jellemzi. **Az informatikai entrópia az átlagos információtartalmat adja meg.** Ennek értéke, a random folyamatban megjelenő, előre meghatározott, véges számú jel, szimbólum vagy osztály típus előfordulási valószínűsége alapján számítható. Esetünkben a random folyamat a mérés során előálló diszkrét adatfolyam. Az adatok érték szerinti osztályba sorolásával az osztályok előfordulási valószínűsége folyamatosan változik.

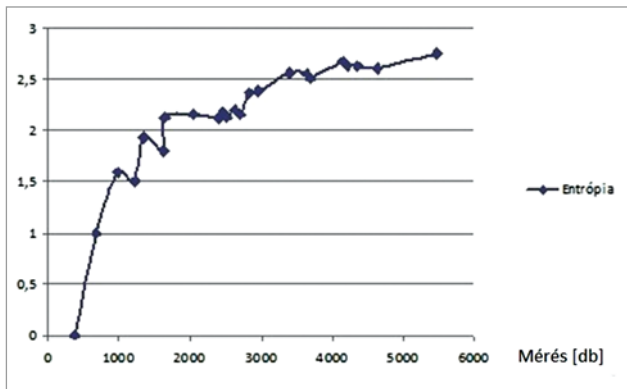
Az előzőekben a 7. pontban ismertetett adatfeldolgozási fázis változó statisztikai adatai alapján folyamatosan az aktuális entrópiaértékek számítása is megtörténik. A szá-

4. ábra Példa egy szántott terület felszínegyenetlenségének jellemzésére

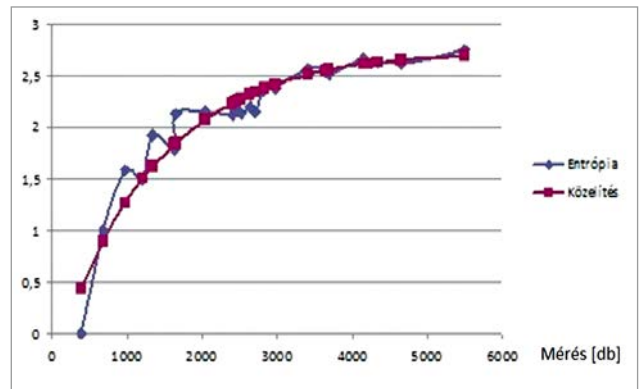


5. ábra A tárcsázás hatására kialakult felszínegyenetlenség a 4. ábrán bemutatott szántáson





6. ábra Az entrópiaértékek változása a mérésszám-növekedés függvényében



7. ábra Az entrópiaértékek közelítése exponenciális regresszióval

mítás az informatikai entrópia ismert összefüggése alapján valósul meg, a 7. pont szerinti értelmezett osztály valószínűségi értékek (p_i) felhasználásával, a következők szerint:

$$H = -\sum p_i \log_2 p_i \quad (4)$$

Az összefüggéssel tehát az eloszlás entrópiája vagy másként a várható információja számítható ki. A mérés folyamatában ennek értéke folyamatosan változik. A mérés darabszám növekedésével az entrópia egy telítődési függvény jellegét vesz fel. Az entrópia értékek a mérés darabszám függvényében kezdetben gyorsan növekszenek. Majd a mérésszám növekedés hatására egyre kisebb változások következnek be. A leírtakat jól szemlélteti a 5. ábrán bemutatott tárcsázott területeloszlás értékei alapján számított entrópia telítődés, ami az 6. ábrán látható.

Az entrópia értékek állandósulása, pontosabban a változás mértékének folyamatos csökkenése alkalmas arra, hogy egy megadott változási határ intervallum elérésekor a mérés leállításra kerüljön. Ezt egyfajta mérésoptimalizálási megoldásnak tekinthetjük.

A telítődés jellege az exponenciális regresszió alkalmazásával matematikai alakban is leírható. (Seber and Wild, 2005. A függvény általános alakja:

$$H = H_\infty - e^{(ax+b)} \quad (5)$$

Ahol az entrópia határértéke, a és b az exponenciális függvény paraméterei. Az exponenciális részt külön bontva

$$H = H_\infty - e^{ax} e^b \quad (6)$$

egy x -től függő, és egy attól független részt kapunk. A b értéke az $x=0$ esetben a H_∞ értékhez tartozó e^b érték. A regressziószámítás során ezt a korlátot nem vettük figyelembe. Ezért b a legjobban illeszkedő exponenciális regresszióhoz tartozó érték lesz. Az 6. ábrán közölt mérési adatokat felhasználva, a részletes számítási lépéseket mellőzve, a regresszió során kapott értékek (6 tizedes pontossággal):

$a = -0,000745$; $b = 1,127849$. Így az illeszkedő függvény a következő szerint adódik:

$$H = 2,75 - e^{(-0,000745 x + 1,127849)} \quad (7)$$

A (7) összefüggés alkalmazásánál a korrelációs együttható $r^2=0,93$ értékre adódik.

A 7. ábra a mért és exponenciális regresszióval meghatározott entrópia értékeket mutatja. Az illeszkedés mértéke az ábra alapján is jól megítélhető. További vizsgálat tárgyát képezi, hogy a regressziós függvények paraméterei, továbbá az entrópia maximum közeli értéke, milyen összefüggésben áll a felszíni egyenetlenséggel.

Összefoglalás

A talajfelszín egyenetlensége egyrészt a rögök véletlenszerűen változó méretétől, másrészt ezek, szintén véletlenszerű távolságától függ. A vizsgált területen mozgó robot számára a rögök akadályként jelennek meg, amelyekben áthaladva annak kinematikai jellemzői változnak. Ezeknek a változásoknak a nagysága a rögök méretével arányos.

Az akadályok, illetve a rögök távolsága a mobil robot kinematikai jellemzőinek változásaiból, a mintavételezési frekvencia és az állandó haladási sebesség figyelembe vételével számítható ki.

Az elemzést és az értékelést szolgáló eredmények, a rögmagasságok és a rögtávolságok előfordulási valószínűségét megadó, kötött osztályszámú hisztogramok formájában jeleníthetők meg.

A mérés optimalizálása, azaz a mérések szükséges számának meghatározása, az online adatfeldolgozás során meghatározott entrópiaértékek alapján történik.

Summary

Soil is one the most important resource. PI Soil surface roughness (SSR) describes the micro-variation in soil elevations across a field. SSR primarily depends from tillage practices. It is an important knowledge how the soil preparation tools and machines are influencing SSR.

A new measuring and appreciating method was developed to determine random SSR. A mobile robot is cruising over the surface. An IMU device measures the kinematic changes of the robot platform. As the robot climb up and down on the clots, the kinematic parameters show the size of the clots. The result of the on line data processing is a 3 dimensional histogram showing the clots size and distance of them. The information entropy was used to optimize the length of a measuring process.

Lektorálta: Dr. Bártfai Zoltán

Felhasznált irodalom

- [1] Gerard Govers et al.: Soil roughness and overland flow Agronomie Vol. 20, March 2000. p. 131-146.
- [2] Grosz B.: Üvegház hatású gázok talajfluxusainak meghatározása magyarországi mezőgazdasági és erdőszült területeinél. http://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2010/grosz_b_p.pdf, 2010. ELTE.
- [3] Blanco, H. et al.: Principles of soil conservation and management. Springer eBook, 2008. p. 63.
- [4] Faust D.: Gépek és Rendszerek Üzemeltetése. SZIE, Gödöllő, 2011.
- [5] Garcia Moreno, R. et al. Multiscaling analysis of soil roughness variability. Geoderma, 160, 2010. pp. 22-30.
- [6] Werner Jester, et al. Soil surface roughness measurement—methods, applicability, and surface representation CETENA, Volume 64, Issues 2–3, 2005, pp. 174–192.
- [7] Blahunka, Faust: Mobil robot platformra szerelt vezeték nélküli mérőhálózat alkalmazása talajfelszín egyenetlenség mérésére és értékelésére. Gép, 2009, 8. szám.
- [8] Shannon and Weaver, The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, 1949.
- [9] Seber and Wild: Nonlinear Regression. John Wiley & Sons, 2005.