

Horizontális penetrométer és talajelmozdulás-mérő fejlesztése talajmodellek kalibrációihoz

Tamás Kornél¹ – Kovács Gyula¹ – Wágner Árpád² – Hudoba Zoltán¹ – Szabó Bence¹ – Kovács László²

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,

¹ Gépészmérnöki Kar, Gép- és Terméktervezés Tanszék

² Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Automatizálás és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Napjainkban számos kutatás foglalkozik a talaj és a talajművelő szerszám érintkezése közben bekövetkező hatásmechanizmus vizsgálatával. A vizsgálatok során az egyik jól mérhető jellemző a vontatási ellenállás, ami kiemelten fontos tényező talajmechanikai szempontból. Mivel a vontatási ellenállás az adott szerszámgeometria függvénye, ezért a kutatók egyre inkább a talajok horizontális penetrációs ellenállásának mérésével történő meghatározását helyezik előtérbe. Jelen kutatásunkban egy ilyen horizontális penetrométer került kifejlesztésre, egy a talajba helyezhető gyorsulásmérésen alapuló talajmozgást jellemző adatgyűjtővel együtt. A fejlesztett eszköz a szerszám talajban történő mozgásának hatására bekövetkező talajmozgás időbeli alakulását megfelelő pontossággal képes rögzíteni. Vizsgálatainkban meghatározásra került a vízszintes talajellenállás, és ezzel egyidőben felvételre került a vizsgált talajfelszín alatti mozgást jellemző pálya, amely a horizontális penetrométer útjába helyezett talajmozgás jellemzésére alkalmas eszközzel került meghatározásra. A mérést laboratóriumi talajvályúban hajtottuk végre 25 cm-es munkamélységben, három különböző mérőkúp (2 cm², 3,33 cm², 5 cm²), valamint három sebesség (0,5 ms⁻¹, 1,0 ms⁻¹, 1,5 ms⁻¹) alkalmazása mellett. A vizsgált talaj 10%-os térfogati nedvességtartalmú homoktalaj volt. A mérési eredmények alapján kimondható, hogy a mérések megfelelő pontossággal végrehajthatók voltak. Az eredmények lehetőséget biztosítanak különböző típusú talajok számítógépes talajmodelljeinek kalibrációjához, ami fontos szerepet játszik a mezőgazdasági talajművelőgépek fejlesztésében. Továbbá az is kiemelendő, hogy a kifejlesztett mérési módszer kiterjeszhető másfajta szemcsés anyagok, illetve halmazok vizsgálatára is.

Bevezetés

A penetrációs ellenállás a szemcsés halmazban mozgatott kúpra ható erő nagyságának és a felület mozgás irányú vetületének hányadosa. A penetrációs ellenállás meghatározása különböző szemcsés halmazok összehasonlítására biztosít lehetőséget. A tudományos szakirodalom kétféle penetrációs ellenállással foglalkozik, egyik a függőleges, azaz vertikális, a másik pedig a vízszintes, azaz horizontális penetrációs ellenállás. Az elterjedt függőleges irányú penetrációs ellenállásmérést a NEN 5140:1996 szabvány írja elő. A mérőműszer mérőkúpokból, mozgató vagy tartóberendezésből, és egy erőmérő egységből áll. A mérőkúpok leggyakrabban szabványos méretű és kúp-szögű kialakítással készülnek. A horizontális penetrációs ellenállást számos tényező befolyásolja. Ilyen például a vizsgált talaj típusa, tömörsége és nedvességtartalma. A nemzetközi szakirodalomban számos kutatás foglalkozik a horizontális penetrációs ellenállással. Naderi-Boldaji és társai (2012) cikkükben azt vizsgálták, hogy miként befolyásolja a nedvességtartalom a talaj penetrációs ellenállását [1]. Mérésük különlegessége abban rejlett, hogy a mérőkúpot úgy alakították ki, hogy a talaj elektromos vezetőképességét is tudta mérni. Így eszközük alkalmas volt az

adott talaj térfogati nedvességtartalmának a meghatározására is. Kutatásuk eredményeként megállapították, hogy a térfogati nedvességtartalom növekedése csökkenti a penetrációs ellenállás nagyságát.

A horizontális penetrációs ellenállás értékét a talajfelszíntől számított vizsgálati mélység is jelentősen befolyásolja. Ennek kutatására Hemmat és társai (2014) olyan horizontális penetrométert építettek, melyen három mérőkúp egyidejűleg működött a talaj három különböző (10 cm, 20 cm, 30 cm) mélységében [2]. Az alkalmazott kúpok mögött mikrofonokat is elhelyeztek, így a vontatás során mért penetrációs ellenállás mellett a mikrofonok által felvett hangokat is rögzítették. A kiértékelés során különböző zajszűrési technikák segítségével, valamint Fourier-transzformáció és Welsh's metódus alkalmazásával jutottak el a megfelelően értelmezhető eredményekig. A kutatás során megállapították, hogy a vizsgálati mélységtől függően nem csak a penetrációs ellenállás nagysága, hanem a talajtönkretenetel típusa is változott. Ezen felül a tönkretenetel pillanata, ami akusztikusan mérhető, összefüggésben van a pillanatnyi penetrációs ellenállás értékével.

A bemutatott kutatások mindegyike egy különleges horizontális penetrométer-kiala-

kítást alkalmazott, amelyek lehetővé tették a penetrációs ellenállás mellett más talajmechanikai jellemzők vagy folyamatok vizsgálatát is, így alkalmasak voltak kapcsolt mérések kivitelezésére. A szakirodalomban sok ezekhez hasonló mérési módszer és eredmény megtalálható, de penetrációs ellenállás közben mért talajmozgás vizsgálatára nem található példa. Kutatásunkban ezért a szakirodalomban fellelhető megoldások megismerését követően az volt a célunk, hogy a horizontális talajellenállás és talajmozgás egy időben történő meghatározására alkalmas mérési metódust alakítsunk ki.

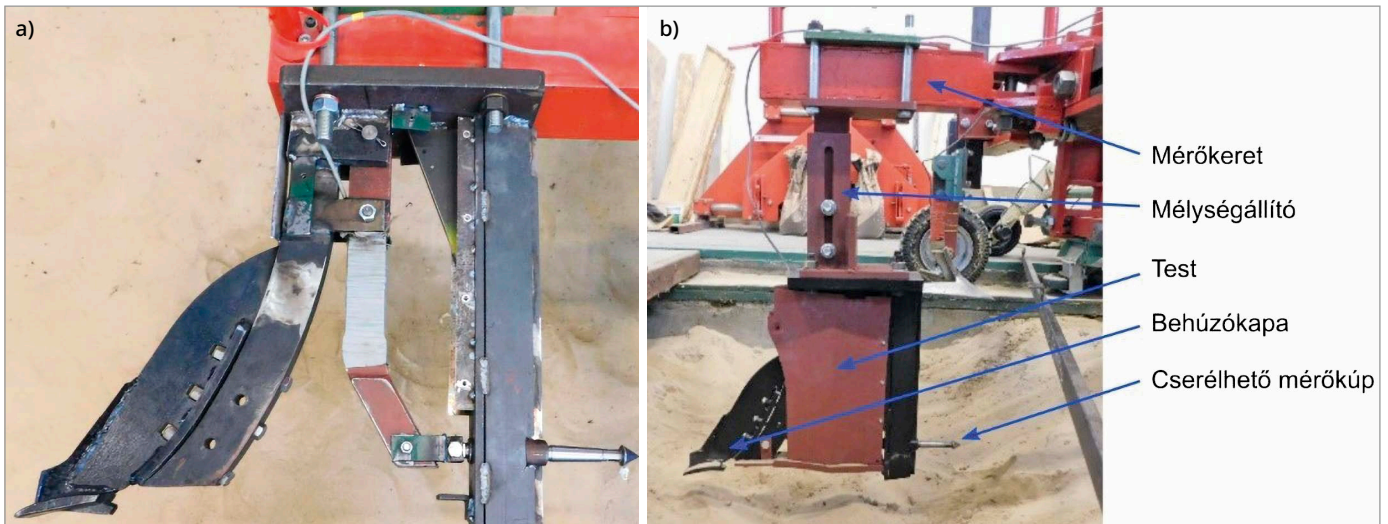
A talajmozgás vizsgálatát alapvetően gyorsulásmérés elve alapján végeztük. A gyorsulás méréséhez egy mikroelektromechanikai IMU (Inertial Measurement Unit) szenzort használtunk. Az ilyen eszközök a gyorsulásmérőn túl tartalmaznak egy giroszkópot, továbbá tartalmazhatnak magnetométert is, mely esetben MARG (Magnetic Angular Rate Gravity) szenzorként is hivatkozhatunk rájuk. Az általunk használt szenzor is MARG szenzor, melynek oka, hogy ezek nem csak a gyorsulás, hanem a térbeli orientáció meghatározására is alkalmasak. Ilyen szenzorok kereskedelmi forgalomban kaphatók, így könnyen elérhetőek.

Talajelmozdulás mérése

A talajmozgás vizsgálatára számtalan módszer létezik, de nagyon kevés olyan eljárás található, ami képes a teljes folyamat időbeli alakulását lekövetni. A legtöbb talajmozgás vizsgálatával foglalkozó kutatás kizárólag a talaj kezdeti és végállapotát vizsgálja a talajmozgatás során.

Felszíni vizsgálat profilográfával

A profilográfával történő mérési eljárás a leginkább elterjedt módszer a talajfelszín letapogatására. Általában laboratóriumi körülmények között alkalmazható nagyobb pontossággal, de szántóföldi mérések esetén is használható [3]. A vizsgálat lényege, hogy a talajművelő szerszám mozgatási irányára merőleges vizsgálati síkban letapogatják a felszínprofil, és összehasonlítják a kezdeti, még műveletlen felszín profiljával. Ezt követően a két mérés eltérése alapján lehet következtetni a talaj függőleges irányú elmozdulására. A mintavételezési stratégiát te-



1. ábra A horizontális penetrométer belső felépítése (a), illetve a teljes szerkezet részei (b)

kintve léteznek mechanikus tapintóval szerelt mérőberendezések, illetve lézeres távolságmérésen alapuló eszközök is. A profilográfus vizsgálatok előnye, hogy gyors és viszonylag olcsó megoldást biztosítanak a talajfelszín jellemzésére. Hátránya viszont, hogy a talaj belső mozgásairól nem ad információt.

Passzív nyomjelzők alkalmazása

A passzív nyomjelzők alkalmazásának lényege, hogy a művelőszerszám útjában a talaj vizsgálati mélységig mátrix alakban (meghatározott vízszintes és függőleges osztásokkal) különböző egyedi jelölésű, kis méretű nyomjelzőket helyeznek el. A művelőszerszám elhaladása után vizsgálható a nyomjelzők talajban történő szétszóródása, amellyel jellemezhető a talaj elmozdulása, mivel az elásott nyomjelzőket a talaj mozgása viszi magával. A passzív nyomjelzős mérési módszer előnye, hogy olcsó, és különböző talajrétegek vizsgálatára alkalmas. Hátránya, hogy a nyomjelzők talajban történő elhelyezése időigényes és nagyon precíz munkát igényel. Problémát jelenthet az is, hogy a nyomjelzők fölött azok elhelyezéséből adódóan megváltozik a talajtömörtség, ami jelentős kihatással lehet azok elmozdulására [4].

A passzív nyomjelzőknek kizárólag a kezdeti és a végpozíciói határozhatók meg ezzel az eljárással, a nyomjelzők mérés közben bejárt trajektóriájáról nem szolgáltat információt ez a módszer.

Aktív nyomkövetők alkalmazása

Az alkalmazható eljárások közül a szenzoros mozgásvizsgálat a legpontosabb, mivel információt kapunk a kölcsönhatás következtében létrejövő a talaj belső mozgásait jellemző pályákról is [5, 6]. A szenzoros nyomkövető a passzív nyomjelző továbbfejlesztett, szenzorral megépített változata. A szenzoros nyomkövető a talajművelő szerszám elhaladásakor együtt mozog a talajjal, így valós

idejű információt szolgáltat a talaj mozgásáról. A szenzoros elmozdulásmérés előnye, hogy megfelelő pontosságú adatokat vesz figyelembe a talajban történő elmozdulás folyamatáról, akár különböző típusú talajrétegekben is. Hátránya, hogy a mérőeszközök talajban történő elhelyezése során megváltozik a talajtömörtség (ez a hiba a passzív nyomjelzők esetében is fennáll), ami jelentős hatással lehet az eredményekre. Továbbá a passzív nyomjelzőkhöz képest az aktív nyomkövetők költségesebbek és méretük nagyobb. Ezek miatt pedig korlátozott a mérési térben a nyomjelzők közötti minimum osztási távolság, így az elhelyezhető darabszám is.

Anyag és módszer

A mérésekhez egy horizontális penetrométer, illetve szenzorokkal ellátott nyomkövető eszköz került kifejlesztésre. A mérési környezetben ezek alkalmazása ugyan együtt történt, azonban kifejlesztésük két különböző szakterület ismeretét igényelte.

A horizontális penetrométer

A kutatás során a mérések elvégzéséhez kifejlesztett horizontális penetrométert az 1. ábra mutatja. A penetrométer fő részei

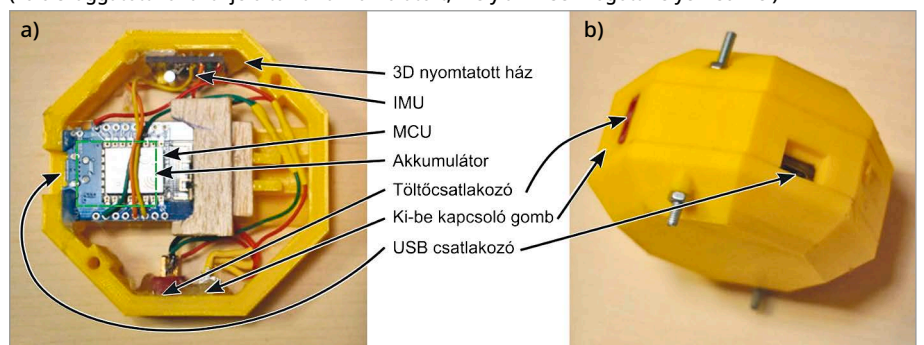
a test, a mérőkúp, a mélységállító, illetve a behúzókapca. A teljes mérőeszköz pedig egy mérőkeretre rögzíthető.

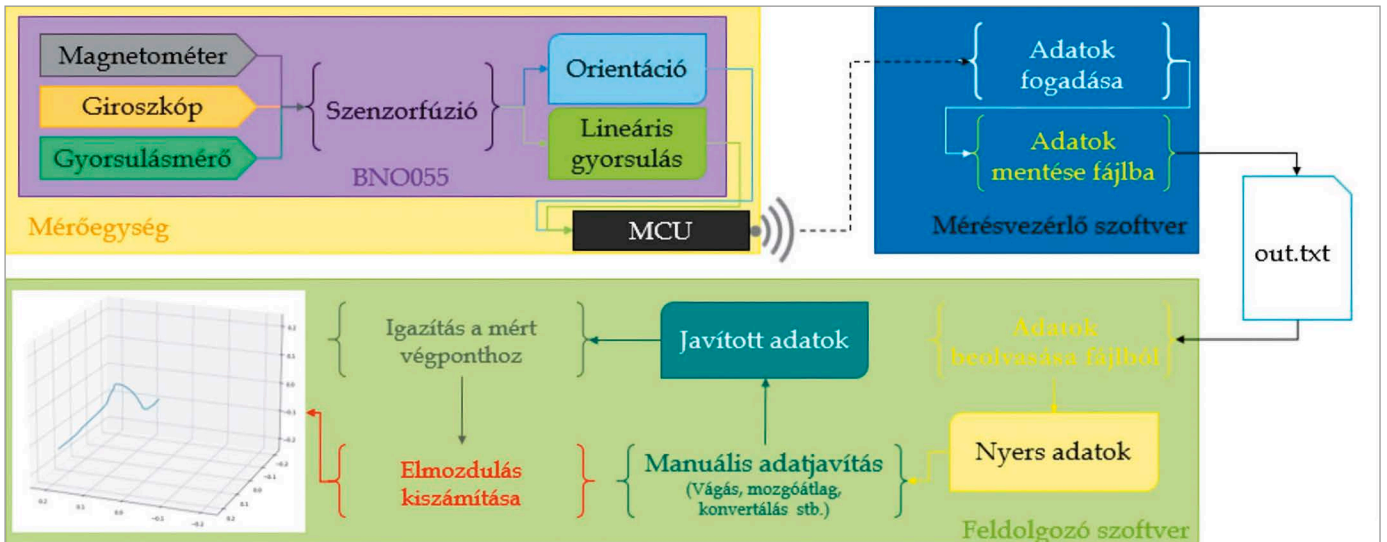
A testen belül található az a mechanizmus és mérőeszköz, mely a mérőkúpra ható erőt méri. A konstrukció lehetővé teszi a különböző geometriájú mérőkúpok alkalmazását. A behúzókapca pedig szántóföldi mérések esetén az eszköz talajba történő behúzását segíti mérési iránnyal ellentétes mozgattal.

A talaj horizontális penetrációs ellenállásának meghatározására egy nyúlásmérő bélyegekkal felszerelt kapaszárat alkalmaztunk. A mérőkúp tartórudazatát ehhez a kapaszárhoz kétsuklós összekötőelemmel csatlakoztattuk, ami garantálni tudta a befezés elkerülését.

A penetrométeres mérőrendszerhez tartozik egy központi adatgyűjtő és kiértékelő egység is, ami egy számítógéphez csatlakozik. A mért értékek exportálása egy erre a célra fejlesztett szoftverrel lehetséges. A szoftver segítségével a mérőkúpra ható erők menthetők ki az idő függvényében. A mérési eredmények rögzítésén kívül a mérőberendezés kalibrációja is a szoftverrel végezhető el külön erre a célra kijelölt funkcióval és referenciatömegek segítségével.

2. ábra Az adatgyűjtő eszköz szétszerelt (a), valamint összeszerelt (b) állapotban (zöld szaggatott vonallal jelöltük az akkumulátort, mely az MCU mögött helyezkedik el)





3. ábra Az elmozdulásmérő műszer működési elve

A talajelmozdulás-mérő rendszer

A mérések elvégzéséhez kifejlesztett mérőrendszer három részre bontható. Az első rész a 2. ábrán látható adatgyűjtő eszköz, melyet a talajban helyezünk el a mérések során. A második a mérések vezérlésére használt szoftver, a harmadik pedig az adatfeldolgozáshoz használt szoftver. Az adatgyűjtő eszközön belül egy IMU szenzor, egy WiFi-vel is rendelkező mikrokontroller egység (MCU) és az áramellátáshoz szükséges akkumulátor kapott helyet. Ezek a komponensek egy 3D nyomtatással készült házban helyezkednek el, amely a 2. ábrán látható.

A mikrokontroller egység feladata, hogy a mérésvezérlőtől érkező parancsokat fogadja és végrehajtsa, valamint annak adatokat továbbítsa. A WiFi-nek köszönhetően nincs szükség vezetékies kapcsolatra azt adatgyűjtő, valamint a mérésvezérlő szoftvert futtató és az adatfeldolgozást végző számítógép között.

A mérés és adatfeldolgozás során az adat útját a 3. ábra mutatja, amely segítségével megismerhetjük azt a folyamatot, hogy

hogyan lesz a mért szenzoradatokról becslt elmozdulás.

A 3. ábrán látható, hogy az IMU szenzoron belül három alszenzor található (magnetométer, giroszkóp és gyorsulásmérő). Ezek mindegyike a három térbeli tengely mentén külön-külön mér. Az így kapott kilenc adattag adja a szenzorfüzió alapját. A szenzorfüzió egy olyan folyamat, mely során több, eltérő típusú szenzor adatait is használhatjuk a kapott adatok pontosítására vagy új típusú adatok kinyerésére. A mi esetünkben háromféle szenzort használunk azzal a céllal, hogy orientáció és lineáris (gravitációs komponens nélküli) gyorsulásadatokat kapjunk. A Bosch BNO055 típusú okosszenzor esetében ezt a szenzorfüziót egy, a szenzorba épített mikrokontroller végzi el, ilyen módon a felhasználó már közvetlenül feldolgozott adatokat kérhet le. Amint a mérésvezérlő szoftver fogadja az adatokat, azokat egy meghatározott formátumú fájlba menti, majd ezt a fájlt olvassuk aztán be a feldolgozó szoftverrel. A beolvasás után a nyers adatok először manuális javításon esnek át, ahol például a felesleges

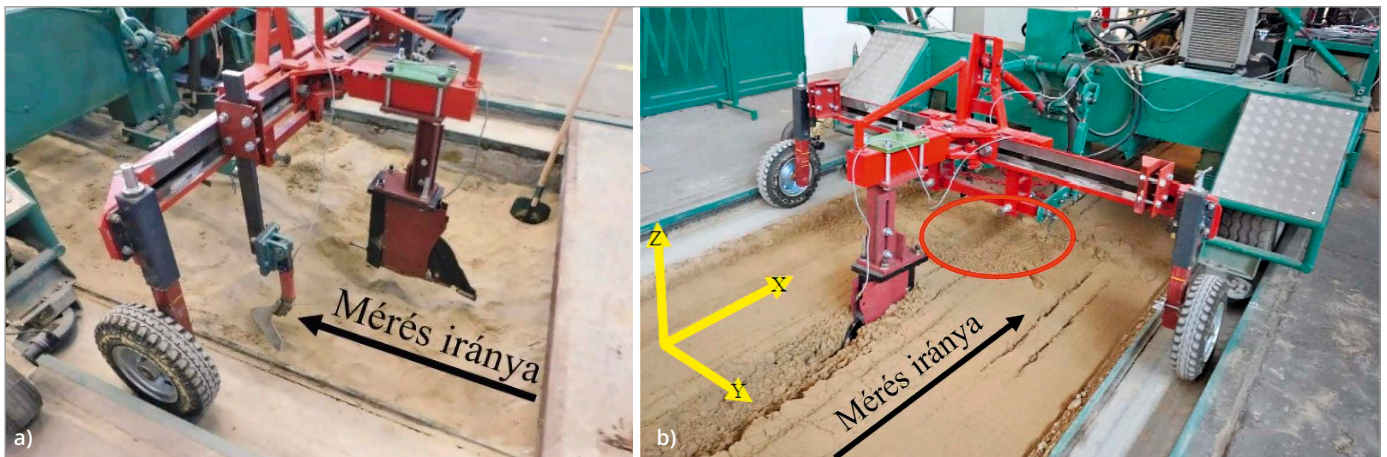
adattagokat a felhasználó levághatja, mozgóátlagot számolhat vagy éppen a nyers adatokat konvertálhatja SI mértékegységekbe. Az általunk fejlesztett algoritmus futtatásához még egy adat szükséges, méghozzá az, hogy mi volt a mérés során az eszköz által megtett teljes elmozdulás (azaz a kezdeti és végpontok különbsége mindhárom térbeli tengelyen). Az így javított adatokon azután lefuttatjuk az általunk fejlesztett algoritmust, amely a külön mért végponthoz igazítja az IMU által vett adatokat. Ezután már csak a kétszeres integrálást kell elvégezni minden időelemre. Így megkapjuk azt az adatsort, amely az eszköz által megtett pálya becslését tartalmazza.

Mérések

Mérési környezet és a mérési konfigurációk bemutatása

A mérésekre Gödöllőn, a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézetben található laboratóriumi talajvályúban került sor. A talajvályú méretét tekintve 50 m hosszú, 1,95 m széles és közel 2 m mély. A benne található talaj

4. ábra Mérőberendezés indulás előtt (a), illetve működés közben (b) (piros kör jelöli az elmozdulásmérőt)





5. ábra A mérőeszköz elhelyezkedése a talajvályúban (a) a mérés megkezdése előtt (b), illetve a mérés után (c)

típusa homoktalaj (homok: 93,28%, iszap: 4,66%, agyag: 2,06%) volt, mely 10%-os térfogati nedvességtartalommal rendelkezett.

A talajvályúban történő mérések végrehajtásához a 4. ábrán látható hidrosztatikus meghajtású mérőkocsi állt rendelkezésre. A mérőberendezések felfogatására egy háromponton függesztett, állítható magasságú vontatókeret szolgált. A horizontális penetrométert erre a keretre rögzítettük. Mérés során a penetrométer közel állandó sebességgel, 25 cm mélységben, vízszintesen került mozgásra a talajban a meghatározott 30 m-es mérési szakaszon. A horizontális ellenállás nagysága 100 Hz-en került rögzítésre. A mérések során három különböző projektált keresztmetszetű, 60°-os kúpszöggel rendelkező mérőkúpot alkalmaztunk, amelyet az 1. táblázat foglal össze.

1. táblázat A mérések során alkalmazott mérőkúpok mérete

Mérőkúp projektált keresztmetszete [cm ²]	Max. átmérő [mm]
2,00	15,96
3,33	20,60
5,00	25,23

A horizontális talajellenállás-mérés 0,5 ms⁻¹, 1,0 ms⁻¹, 1,5 ms⁻¹ sebességek alkalmazása mel-

lett történt. A vontatási sebességek értéke elméleti úton beállított paraméter. A mérések során a tényleges sebesség változott a talaj inhomogenitásától függően. Mivel a mérőkocsi képes a pillanatnyi sebességérték meghatározására, így minden mérési ponthoz hozzárendelésre került az aktuális vontatási sebesség [5].

A talajelmozdulás jellemzésének meghatározására egy adatgyűjtő egység került elhelyezésre a talajban 200 mm mélységben. A kilenc mérésből összesen hat penetrációs ellenállással kapcsolt elmozdulásmérés végeztünk, minden esetben ugyanazon adatgyűjtővel. Az eszköz vezérlése laptopról, az erre létrehozott saját fejlesztésű szoftver segítségével történt. Minden mérésnél 1200 adat került rögzítésre az elmozdulás folyamatáról. A méréseknel az 5,00 cm²-es projektált keresztmetszettel rendelkező mérőkúp került alkalmazásra a penetrométeren. A végrehajtott méréseknel négy esetben az adatgyűjtő egységet a talajba, a penetrométer nyomvonalába helyeztük el, a másik két esetben pedig attól 50 mm, illetve 100 mm távolságra.

Minden egyes mérés végeztével gondoskodtunk a talaj eredeti állapotba történő visszaállításáról. A visszaállítás során talajre-

generálásra, illetve tömörítésre volt szükség, amit a mérőkocsi alkalmazásával végeztünk el a kiindulási pontba történő visszaálláskor. Mivel a talaj tömörsége jelentős mértékben befolyásolja a penetrációs ellenállást, így fontos volt az azonos kezdeti talajállapot létrehozása minden mérés előtt.

Mérési eredmények bemutatása

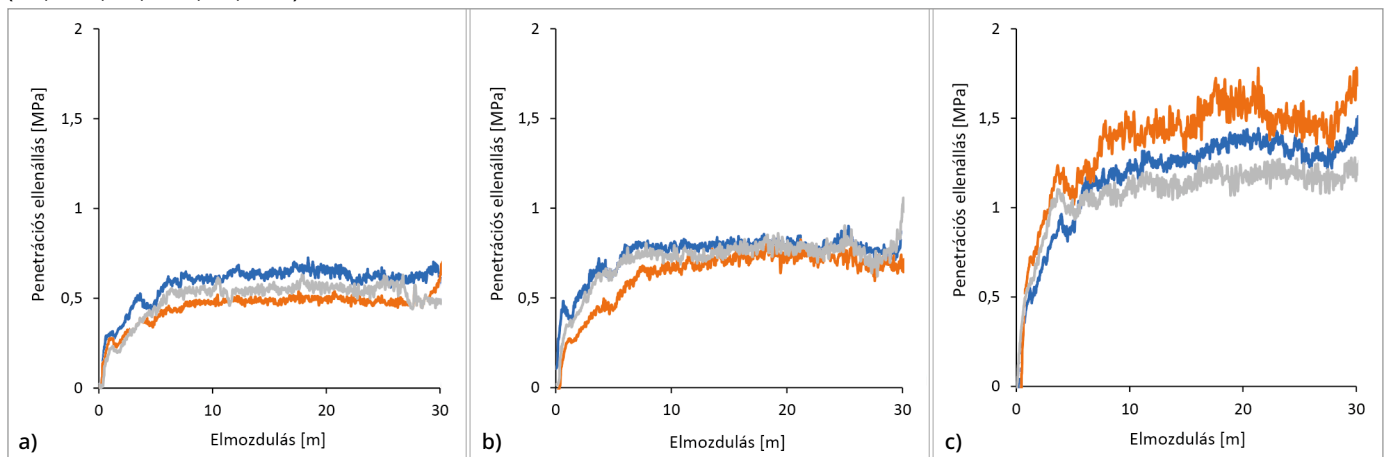
Horizontális penetrációs ellenállás eredményei

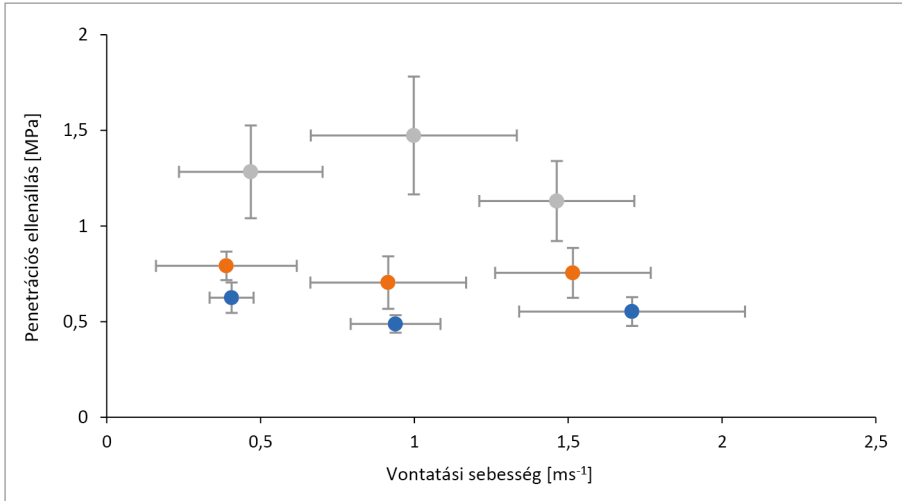
A penetrométerrel mért kilenc mérés eredményeit a 6. ábra mutatja. Három különböző sebességgel és három különböző méretű mérőkúppal hajtottuk végre a vizsgálatokat. Az egyes diagramok az azonos mérőkúppal mért eredményeket jelenítik meg. Egy diagramon belül pedig ábrázolásra került a penetrációs ellenállás a penetrométer által megtett út függvényében.

A 7. ábra mutatja a penetrációs ellenállás értékének teljes mérési szakaszon vett átlagát a hozzájuk tartozó vontatási sebességek átlagának függvényében, különböző mérőkúpok esetén. Az ábrán feltüntetésre kerültek az egyes mennyiségek hibaszávjai is.

Az ábra mutatja, hogy a vontatási sebességek hibaszávjai jóval nagyobbak, mint a penetrációs ellenállásé. Ennek oka a mérőkocsi

6. ábra A horizontális penetrációs ellenállásmérés eredményei 5 cm² (a), 3,33 cm² (b) és 2 cm² (c) projektált keresztmetszetű mérőkúpok alkalmazásával (— 0,5 ms⁻¹; — 1,0 ms⁻¹; — 1,5 ms⁻¹)





7. ábra A penetrációs ellenállás különböző vontatási sebességek, illetve mérőkúpok esetén (●5 cm²; ●3,33 cm²; ●2 cm²) (a hibásávokat szürke vonalak jelölik)

sebességének hullámzása a mérés során fellépő, a talaj inhomogenitásából adódó terhelésingadozás hatására. Nagyobb vontatási sebesség esetén jelentősebb a sebességértékek szóródása. A 3,33 cm² és az 5 cm² projektált keresztmetszetű mérőkúppal végzett mérések jellegre megegyező tendenciát mutatnak, azonban a 2 cm² projektált keresztmetszetű mérőkúppal végzett mérések eltérnek ezektől. Ennek oka a mérőkúp külső átmérőjének mérete. Ennél a kúpnál a mérhető legnagyobb átmérő 15,96 mm,

viszont a mérőkúptartó rudazat legnagyobb átmérője 20 mm volt. Így nem csak a mérőkúp kapott terhelést, hanem a mérőkúptartó is, amely jelentősen befolyásolta az eredmények alakulását.

A talajelmozdulás-mérés eredményei

A továbbiakban egy mérés kiértékelésén keresztül mutatjuk be az elmozdulásmérések eredményeit. Ez esetben az adatgyűjtő egységet a penetrométer nyomvonalában helyeztük el. Jelen esetben a mérés végén a mé-

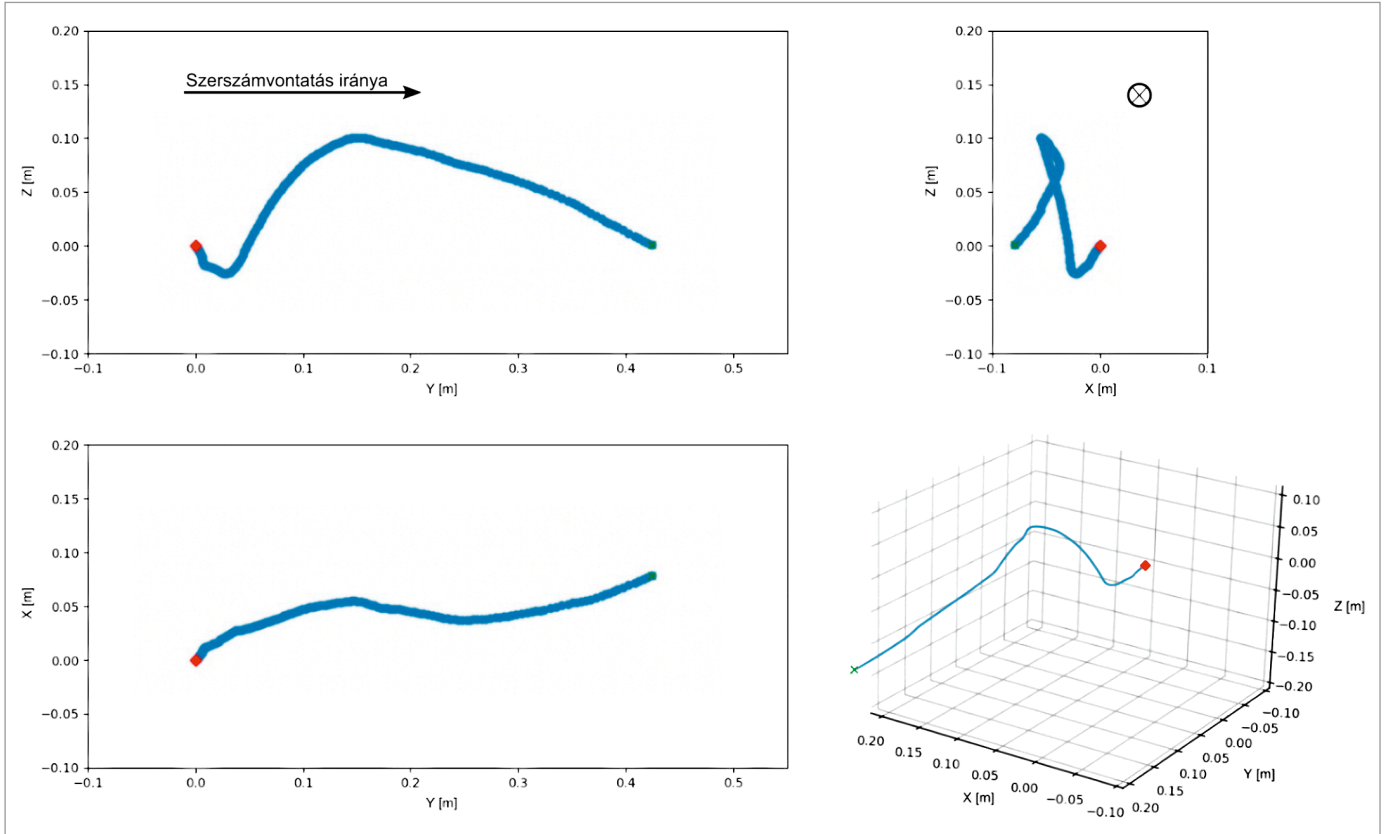
rési adatgyűjtő eszköz 90 mm-t mozdult el jobbra, 425 mm-t előre, a Z tengely mentén pedig közel ugyanabban a pozícióban volt a mérés kezdetekor és a végén. A kirajzolt pályát mutatja a 8. ábra. Fontos megjegyezni, hogy ezen mérés esetében ugyan a mérőlabdát visszatemettük, de a fölötte lévő talaj nem hozható biztosan a talajvályú egészében fennálló állapotba.

Egy másik mérésben a mérőlabdát a penetrométer mozgási síkjához képest merőlegesen, 100 mm távolságban helyeztük el. Ez abban különbözött a többi vizsgálattól, hogy a mérőeszköz fölötte lévő talaj a homogenitás növelésének érdekében a kezdeti állapotának létrehozásával azonos módon lett tömörítve. Itt az eszköz 50 mm-t mozdult előre, 10 mm-t jobbra és 20 mm-t függőleges irányba.

Következtetések

A kutatómunkánk során kifejlesztésre került egy horizontális penetrométer és egy talajelmozdulás jellemzésére alkalmas mérőrendszer. Ezek a tervezési fázisból eljutottak a működőképes, mérésre alkalmas konstrukcióig. Lényeges eredményként említhető az a kapcsolt mérés, amely a két mérőeszköz együttes felhasználásával került kivitelezésre. A mért és kiértékelt adatok alapján megállapítható, hogy azok az elvárt eredményeket hozták úgy is, hogy mindkét beren-

8. ábra A mérésben az adatgyűjtő eszköz által regisztrált adatok alapján számított elmozduláspálya különböző kétdimenziós vetületekben, illetve három dimenzióban (piros pont jelöli a kiindulási pozíciót)



dezés prototípusjellegű volt. A horizontális penetrométerrel végzett mérésekről kijelenthető, hogy a penetrációs ellenállás jellegre nagy hasonlóságot mutatott a különböző mérőkúpokkal végzett vizsgálatok esetén, amely szintén alátámasztja a mérőrendszer megfelelő működését. A talajelmozdulást mérő mérőlabda által létrehozott, majd kiértékelt eredményeket összehasonlítva a kiindulási és véghelyzetek között nagy hasonlóság volt felfedezhető, ami jól bizonyította a berendezés megfelelő működését. A sikeres mérőlabdás elmozdulásmérések eredményeit az is alátámasztja, hogy a mérőlabda által megtett utat időben és térben egyaránt lekövetjük, és annak elmozduláspályája ki-rajzolható volt.

A mérések során kapott eredményeket alapul véve lehetséges virtuális talajmodell-kalibrációt végezni szimulációs környezetben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és az ÚNKP Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.



Összefoglalás

Napjainkban számos kutatás foglalkozik a talaj-szerszám kölcsönhatás során bekövetkező hatásmechanizmus vizsgálatával. Jelen kutatásunkban egy horizontális penetrométer került kifejlesztése egy

gyorsulásmérésen alapuló mérőrendszerrel együtt. A fejlesztett eszköz képes a kölcsönhatás során a talaj belső mozgásáról is információt szolgáltatni. A méréseket laboratóriumi talajvályúban hajtottuk végre 25 cm-es munkamélységben, három különböző mérőkúp (2 cm^2 , $3,33 \text{ cm}^2$, 5 cm^2), valamint három sebesség ($0,5 \text{ ms}^{-1}$, $1,0 \text{ ms}^{-1}$, $1,5 \text{ ms}^{-1}$) alkalmazása mellett. A vizsgált talaj 10%-os térfogati nedvességtartalmú homoktalaj volt. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a mérések megfelelő pontossággal végrehajthatók. Az eredmények később felhasználhatók számítógépes talajmodellek kalibrációjához. A kifejlesztett mérési módszer más fajta szemcsés anyagok vizsgálatára is kiterjeszhető.

Summary

These days a lot of research is dedicated to describe the action mechanism during soil-tool interactions. In this research a horizontal penetrometer was developed along with an acceleration based measurement system which is able to give information about the soil's inner movements during the soil-tool interactions. Measurements have been done in a laboratory soil bin at 25 cm soil depth using 10% volume based moisture content sandy soil. Three different cones (2 cm^2 , 3.33 cm^2 , 5 cm^2) and three different speeds (0.5 ms^{-1} , 1.0 ms^{-1} , 1.5 ms^{-1}) were utilized in the soil bin tests. Based on the results, it can be concluded that the measurements can be carried out with adequate accuracy. The results can be used as the basis of calibrating computerized soil models. Furthermore, it is possible to extend

the developed measurement method to other granular materials.

Lektorálta: Horváth Dániel

Irodalomjegyzék

- [1] Naderi-Boldajji, M., Alimardani, R., Hemmat, A., Sharifi, A., Keyhani, A., Dolatsha, N., & Keller, T. (2012). Improvement and field testing of a combined horizontal penetrometer for on-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance. *Soil and Tillage Research*, 123, 1-10.
- [2] Hemmat, A., Rahnama, T., & Vahabi, Z. (2014). A horizontal multiple-tip penetrometer for on-the-go soil mechanical resistance and acoustic failure mode detection. *Soil and Tillage Research*, 138, 17-25.
- [3] Tamás, K. (2018). The role of bond and damping in the discrete element model of soil-sweep interaction. *Biosystems engineering*, 169, 57-70.
- [4] Gürsoy, S., Chen, Y., & Li, B. (2017). Measurement and modelling of soil displacement from sweeps with different cutting widths. *Biosystems engineering*, 161, 1-13.
- [5] Spreitzer, G., Gibson, J., Tang, M., Tunnicliffe, J., & Friedrich, H. (2019). SmartWood: Laboratory experiments for assessing the effectiveness of smart sensors for monitoring large wood movement behaviour. *Catena*, 182, 104145.
- [6] Caviezel, A., Schaffner, M., Cavigelli, L., Niklaus, P., Bühler, Y., Bartelt, P., ... & Benini, L. (2017). Design and evaluation of a low-power sensor device for induced rockfall experiments. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67(4), 767-779.

Megrendelőlap

Előfizetésben megrendelem a **MEZŐGAZDASÁGI TECHNIKA** c. lapot példányban.

1/4 évre 1200 Ft

1/2 évre 2400 Ft

1 évre 4800 Ft

Megrendelő (előfizető):

Lakcím:

E-mail cím:

Kézbesítési cím*:

(* a kézbesítési címet csak akkor töltsse ki, ha a fizető cím nem azonos a kézbesítési címmel)

A megrendelőlapot a következő címre szíveskedjenek feladni:

MATE Műszaki Intézet

Mezőgazdasági Technika Szerkesztősége

2100 Gödöllő, Tessedik S. u. 4.

aláírás

A megrendelőlap adatainak az mgitech@hu.inter.net e-mail címre történő elküldésével is előfizethet nyomtatott magazinunkra. Leggyorsabban pedig weboldalunkon (www.mgitech.hu) az "Előfizetés" menüpont alatt tudja megrendelni lapunkat.

Online előfizetést regisztrációt, majd belépést követően weboldalunkon (www.mgitech.hu) az "Előfizetés" menüpont alatt tud igényelni **(2000 Ft / 6 hó; 4000 Ft / 1 év)**