

**DEBRECENI EGYETEM**  
**Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma**  
**Mezőgazdaságtudományi Kar**  
**Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet**

**ZÁRÓJELENTÉS**

**TALAJMŰVELÉSI ELJÁRÁSOK HATÁSA A TALAJ VÍZ- ÉS  
NITROGÉNFORGALMÁRA**

**(OTKA F 047344)**  
**c. témáról**

**Készítette:**  
**Dr. Megyes Attila**  
**Tudományos munkatárs**

**Debrecen**  
**2008**

## Az elért eredmények ismertetése

### A vizsgálatok körülményei, módszere

A hagyományos és talajkímélő termesztéstechnológiai rendszereket a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumának Látóképi kísérleti telepén (47° 30' É, 21° 33' K, 121 m) alföldi mészlepedékes csernozjom talajon (Mollisol-Calciustoll vagy Vermustoll, agyagos vályog; USDA) beállított talajművelési tartamkísérletben öntözetlen körülmények között vizsgáltuk a 2004-2007 évek tenyészidőszakában. A tartamkísérletben beállított talajművelési változatok a következők voltak: őszi szántás (27 cm), tavaszi szántás (22 cm) és tavaszi sekély művelés (tárcsázás, 12 cm).

A talaj nedvességforgalmában bekövetkezett változásokat kapacitív elven működő nedvességmérő talajszondákkal (BR-150, RAJKAI, 2004) követtük nyomon. A szondák béléscsőveinek lehelyezését követően június végétől a betakarításig két-három heti rendszerességgel mértük a nedvességtartalom változását a 0-200 cm-es talajszelvényben. A vizsgálatokhoz a természetes tápanyagellátottságú és a trágyázott területeken mért nedvességadatok átlagát használtuk fel.

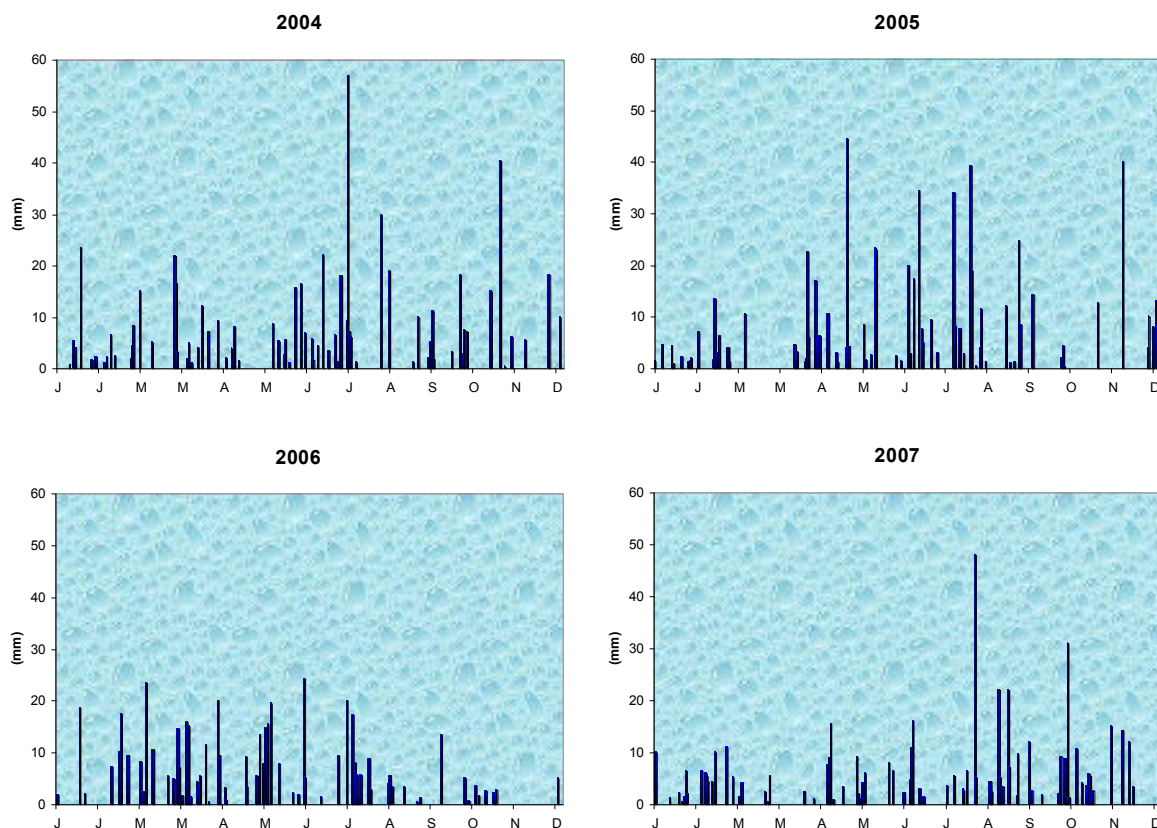
A talajszelvény ásványi N-készletének szezonális dinamikájában bekövetkező változások megítéléséhez a tenyészidőszak folyamán a tartamkísérlet öntözetlen blokkjának trágyázatlan és közepes műtrágyaadaggal ellátott ( $N=120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) parcelláiról 3-4 alkalommal gyűjtöttünk bolygatott talajmintákat a kukorica jelzőnövény gyökerezése és a talajművelés hatása szempontjából mérvadó 0-100 cm-es rétegből, 20 cm-es rétegeket elkülönítve. A begyűjtött talajminták  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmának vizsgálatát a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumának Mikrobiológiai Tanszékén végezték el SPECTROQUANT NOVA 60 A típusú fotométerrel, nitrát teszt segítségével.

A kutatási programban a talajszelvény víz- és ásványi N-készletének szezonális dinamikájában bekövetkező változásokat, valamint a kukorica fenológiai jellemzőit és szemtermését a 2003-2006 közötti időszak adatai alapján szimulációs rendszermodellek segítségével is megbecsültük. Az alkalmazott növény-talaj-atmoszféra növénytermesztési szimulációs rendszermodell (4M v. 4.5) megbízhatóságával kapcsolatos vizsgálatok (kalibrálás, validálás) megtörténtek, a modell térségi adaptációjához szükséges időjárási, talaj és növényi alapadatok összegyűjtése folyamatosan történt. A napi léptékű időjárási adatokat a Látóképi Kísérleti Telepen üzembe helyezett automata mérő és adatgyűjtő állomáson keresztül, illetve a DE AMTC MTK Agrometeorológiai Obszervatórium Adatfeldolgozó Központja segítségével szereztük be.

Az egyes talajművelési és trágyázási kezelések ásványi N-készletének szezonális dinamikájában bekövetkező változásokat a 4M szimulációs modell által adott N-mérlegek elemzésével is kiegészítettük a 2004-2006-es időszakra vonatkozóan.

### Talajnedvesség-eloszlás, -dinamika

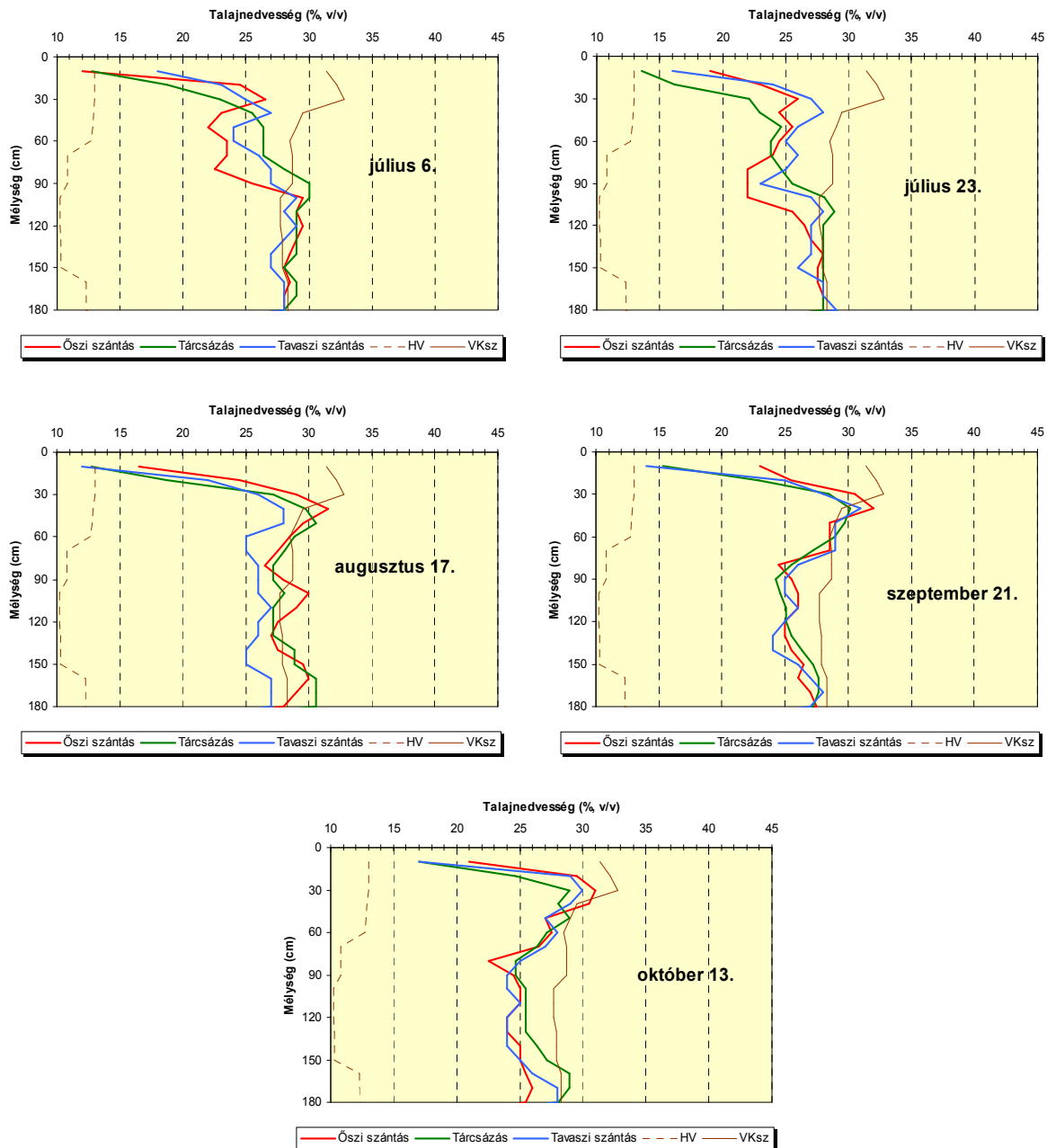
Mind a 2004-es mind a 2005-ös év átlagon felüli mértékben csapadékos volt. A téli félévben valamint a vegetációs periódusban is elegendő csapadék hullott. A csapadék mennyisége mellett eloszlása is kedvező volt, különösen a kukorica fejlődése szempontjából kritikusnak számító júliusi, augusztusi időszakban volt folyamatos a csapadék utánpótlása mindkét évben. 2005-ben azonban már a sokéves átlagot esetenként jóval meghaladó, özönvízszerűen érkező esők is problémát okoztak. A 2005-ös év tenyészidőszakában 502.1 mm csapadékot mértek, ami 46%-kal haladta meg az 50 éves átlagot (340 mm). A nyári hónapok csapadéka a talajban tárolt vízmennyiséggel együtt optimális vízellátottságot eredményezett. A hazánkban sokszor csapadékhiányos júliusban 99.7, augusztusban 135.7 mm eső esett. E két hónap csapadékösszege az 50 éves átlagok alapján számolt értéket (121 mm) jelentősen felülmúlta. 2006 éves csapadékmennyisége ugyan mintegy 57 mm-rel alatta maradt a sokéves átlagnak, azonban – az előző évhez hasonlóan – mind a téli mind a nyári félévben kedvezően alakult a csapadék mennyisége és eloszlása is. Ezzel szemben 2007-ben a rendkívül száraz téli félévet (128 mm) a kora nyári időszakban is szokatlan aszály követte, aminek július második felétől kezdve egy csapadékosabb periódus vetett véget. Az augusztustól októberig lehullott csapadék mennyisége mindhárom hónapban 30-50 mm-rel meghaladta a sokévi átlagot. (1. ábra).



1. ábra

Napi csapadék eloszlása (Látókép, 2004-2007)

A talajszelvény nedvességtartalmának tenyészidőszakbeli dinamikáját a 2-5. ábrák szemléltetik. Az ábrákon a talaj térfogat %-ban kifejezett, adott időpontban mért nedvességtartalma mellett ábrázoltuk a talaj vízformáit, így a növények számára nem felvehető holtvíz (HV), illetve a szabadföldi vízkapacitás (VK<sub>sz</sub>) értékét is.



2. ábra.

### Talajművelési eljárások hatása a talajnedvesség tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2004)

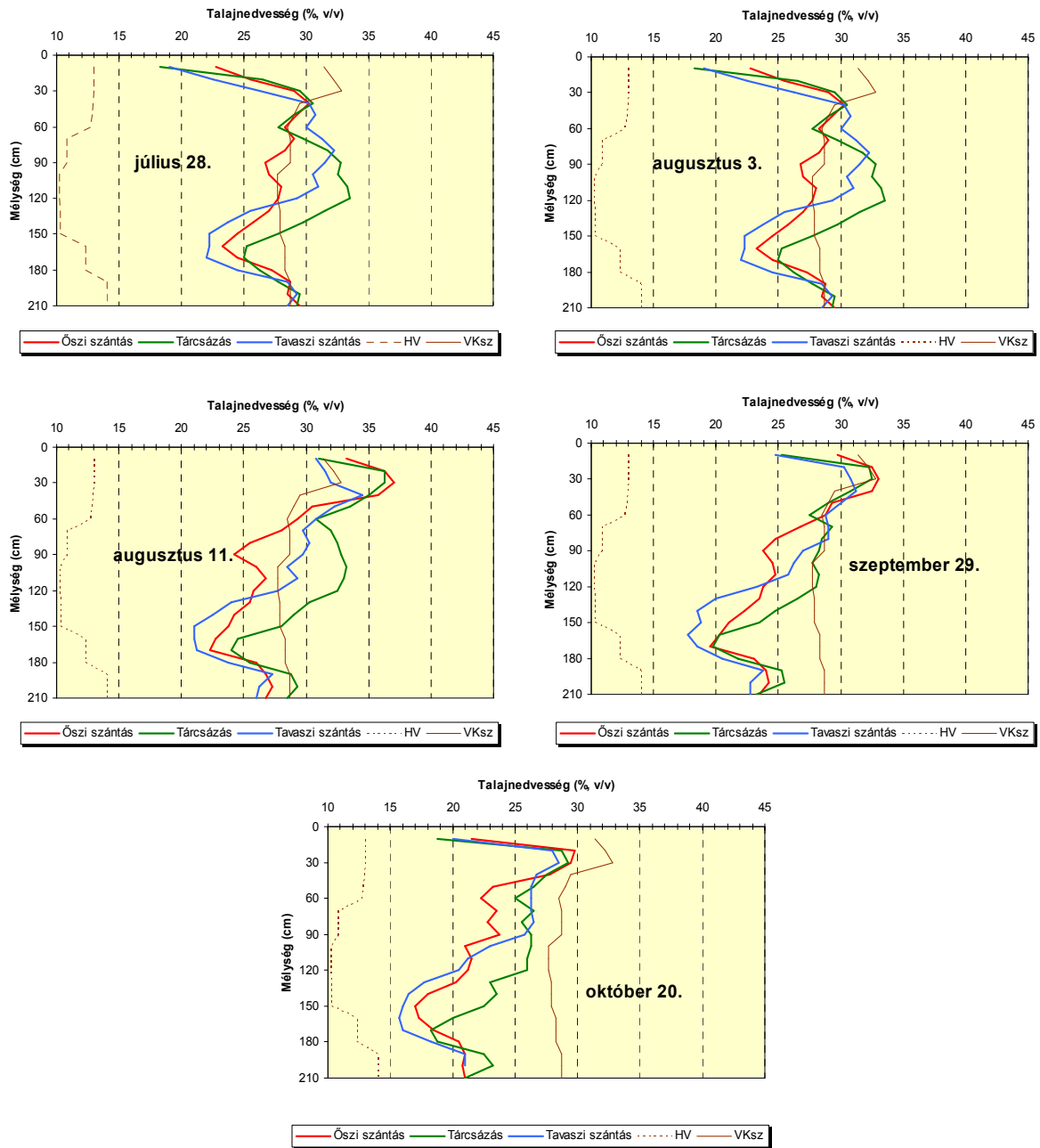
A 2004. év tenyészidőszakában végrehajtott nedvességtartalom mérések alapján felrajzolt nedvességprofilokat értékelve megállapítottuk, hogy a 0-180 cm-es talajszelvényben a vizsgált talajművelési kezelések között matematikai-statisztikai módszerrel igazolható talajnedvesség-tartalom különbség nem alakult ki (2. ábra). A 90-180 cm-es talajszelvény az ősszel és tavasszal szántott, valamint a forgatás nélküli művelések esetén egyaránt a szabadföldi vízkapacitás mértékéig telítődött

maradt a tenyészidőszak 2/3 részében, s a később végrehajtott mérések alapján is mindössze a szabadföldi vízkapacitás 90%-ára mérséklődött a nedvességekészlet. A felette elhelyezkedő, 20-90 cm-es talajrétegben szintén kedvező nedvességviszonyokat tapasztaltunk. E rétegek nedvességtartalma kismértékben a szabadföldi vízkapacitás alatt maradt, a vizsgálat időpontjától függően annak 75-90 %-át érve el. Kisebb mértékű vízhiány csak a talaj felső 20 cm-es rétegében volt kimutatható, ahol esetenként a holtvíztartalom közelébe süllyedt a talaj nedvességekészlete. A mérések eredményei szerint a vegetációs időszak csapadékos időjárása jótékonyan hozzájárult a talajszelvény feltöltődéséhez, a talaj kedvező nedvességállapota a tenyészidőszak végéig fennmaradt. 2004-ben a talaj nedvességekészlete mindhárom művelési mód esetén optimális feltételeket biztosított a kukoricaállomány növekedéséhez, fejlődéséhez.

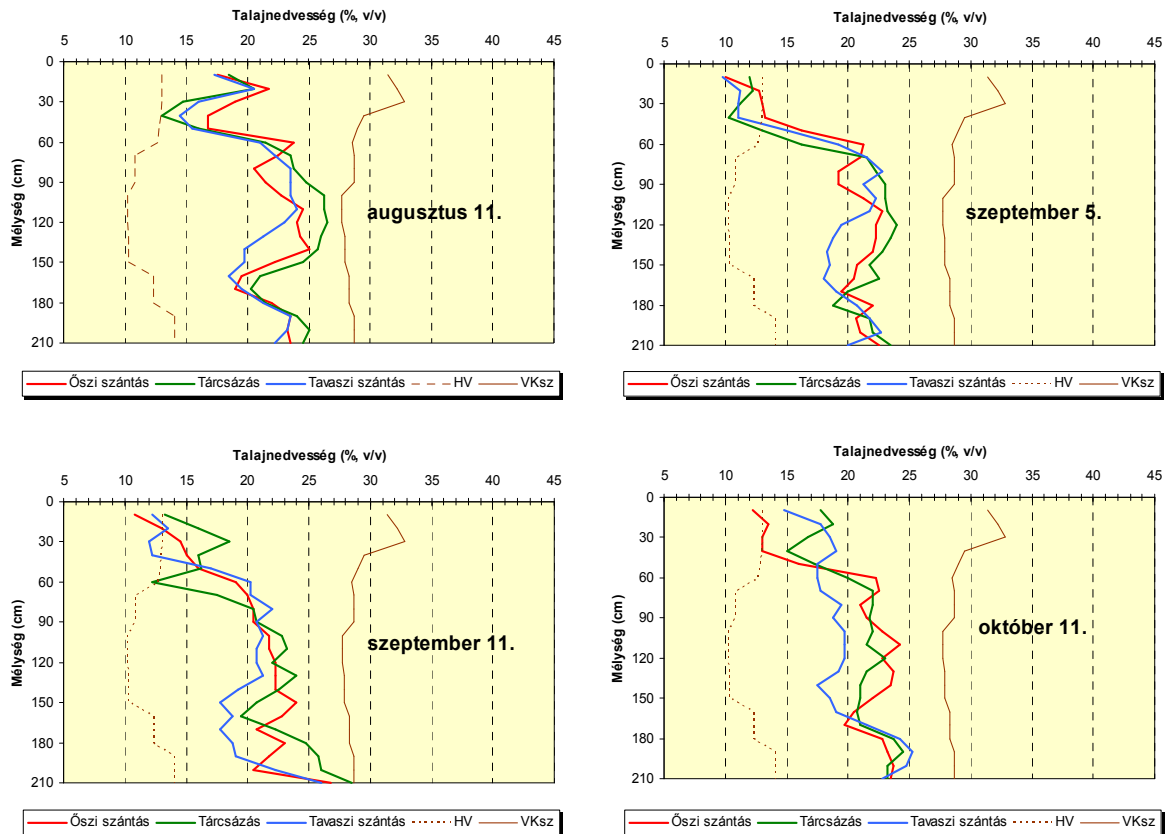
2005-ben az eltérő talajművelési módok jelentős mértékben befolyásolták a talajszelvény nedvességekészletét, ezen belül a növények által felvehető nedvességtartalom tenyészidőszak alatti dinamikáját (3. ábra). A talajkímélő, szántást mellőző tavaszi sekélyművelés előnye az őszi szántáshoz viszonyítva 100-120 mm volt, de a két szántott változat között is mintegy 40-50 mm eltérést találtunk.

A tárcsázott kezelésben mért szignifikánsan nagyobb talajnedvesség értékek csaknem az egész vizsgált talajszelvényben illetve valamennyi mérési időpontban meghaladták a szabadföldi vízkapacitás értékét. Ez a mélyebben elhelyezkedő talajrétegek nagyobb mértékű feltöltődésének következménye. A mérések alapján úgy tűnik, hogy a talajszelvény feltöltődése az őszi időszakban, illetve a tél folyamán sokkal hatékonyabb volt a talajkímélő, tavaszi sekélyművelésű kezelésben, mint a szántott parcellákon. A mérések eredményei szerint a talaj felső 120-140 cm-es rétege a tavasszal szántott, valamint a forgatás nélküli művelés esetén egyaránt a szabadföldi vízkapacitás mértékéig telítődött nedvességgel. Őszi szántás esetén ez csak a talaj felső 60 cm-es szelvényére volt jellemző. A mélyebb, 160-180 cm-es szelvényben mindhárom talajművelési kezelés esetén kimutatható volt egy közbülső, a felette és az alatta elhelyezkedő szelvénynél szárazabb réteg, amely a növényállomány gyökérzetének aktív vízfelvételét bizonyítja. E réteg nedvességtartalma azonban – a talajművelési kezelésektől függően – csak 15-20 térfogat %-ig csökkent (a  $VK_{sz}$  54-70 %-a) a betakarítás idejére, tehát nem érte el a holtvíztartalom értékét.

A 2006-os tenyészidőszakban végrehajtott nedvességtartalom mérések alapján felrajzolt nedvességprofilokat értékelve megállapítottuk, hogy a 0-180 cm-es talajszelvényben a vizsgált talajművelési kezelések között statisztikailag igazolható talajnedvesség-tartalom különbség nem alakult ki. A vizsgált talajszelvény 0-60 cm-es rétegének nedvességekészlete az augusztus második felétől beköszöntő csapadékszegény időszak és az intenzív evapotranspiráció hatására közel holtvíztartalomig csökkent. A mélyebb rétegek nedvességtartalma ezzel szemben a szántott, valamint a forgatás nélküli művelések esetén egyaránt kismértékben a szabadföldi vízkapacitás alatt maradt, annak 70-85 %-át érve el. A mérések eredményei szerint a vegetációs időszak csapadékos időjárása jótékonyan hozzájárult a talajszelvény feltöltődéséhez, a talaj kedvező nedvességállapota a tenyészidőszak végéig fennmaradt. A talaj nedvességekészlete – az előző évhez hasonlóan – mindhárom művelési mód esetén optimális feltételeket biztosított a kukoricaállomány növekedéséhez, fejlődéséhez (4. ábra).



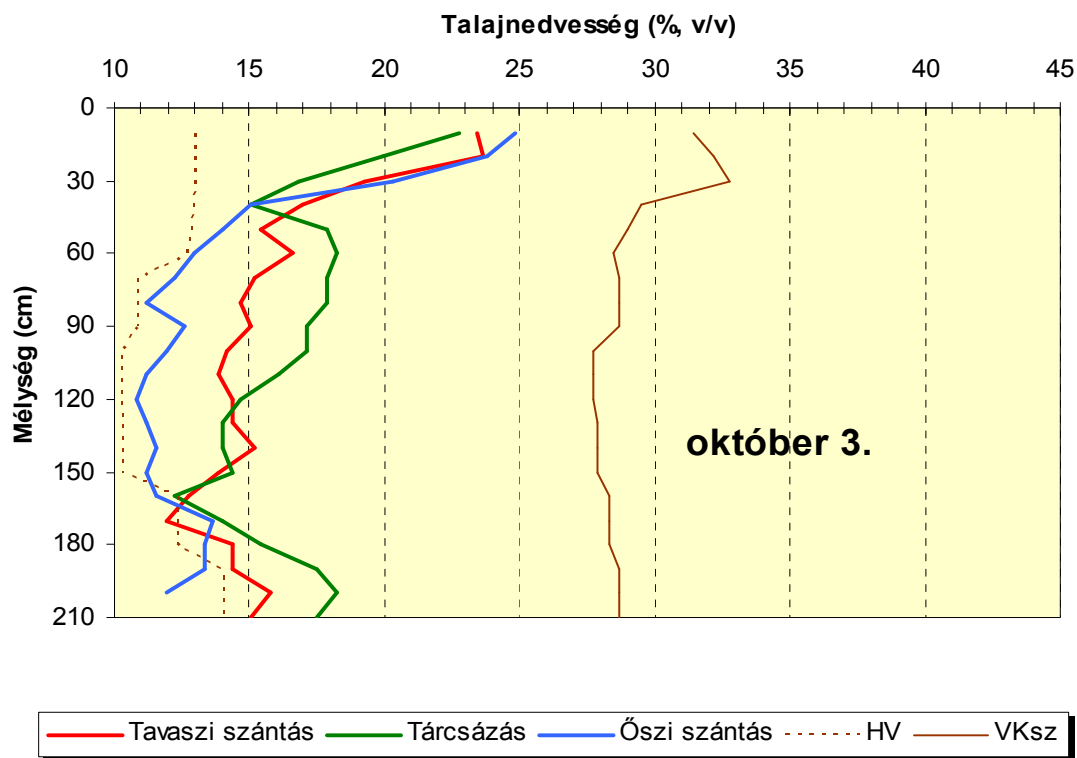
3. ábra.  
 Talajművelési eljárások hatása a talajnedvesség tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2005)



4. ábra.

#### Talajművelési eljárások hatása a talajnedvesség tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2006)

2007-ben a kapacitív mérőszonda folyamatos meghibásodása miatt csak a tenyészidőszak végén sikerült a talajnedvesség értékeket rögzítenünk. A mérések tükrözték a rendkívüli mértékben aszályos tavaszi-nyári időszak időjárásának következményeit. A talajszelvény 40-50 cm-nél mélyebb rétegeinek nedvességtartalma holtvíztartalom közelébe süllyedt. A mérés időpontjában az időközben csapadékosabbra fordult időjárás hatását jelzi a talaj felső 30 cm-es rétegében tapasztalt kismértékű nedvesedés. A vizsgálat szerint különösen a tavasszal szántott kísérleti területen volt erőteljes a profil nedvességvesztése a tenyészidőszak végére. Mindez ismételten rávilágít arra, hogy száraz, aszályos kora tavaszi időszakban agronómiai szempontból kifejezetten kockázatos és kerülendő a tavaszi vetésű növények számára elvégzett szántásos alapművelés (5. ábra).



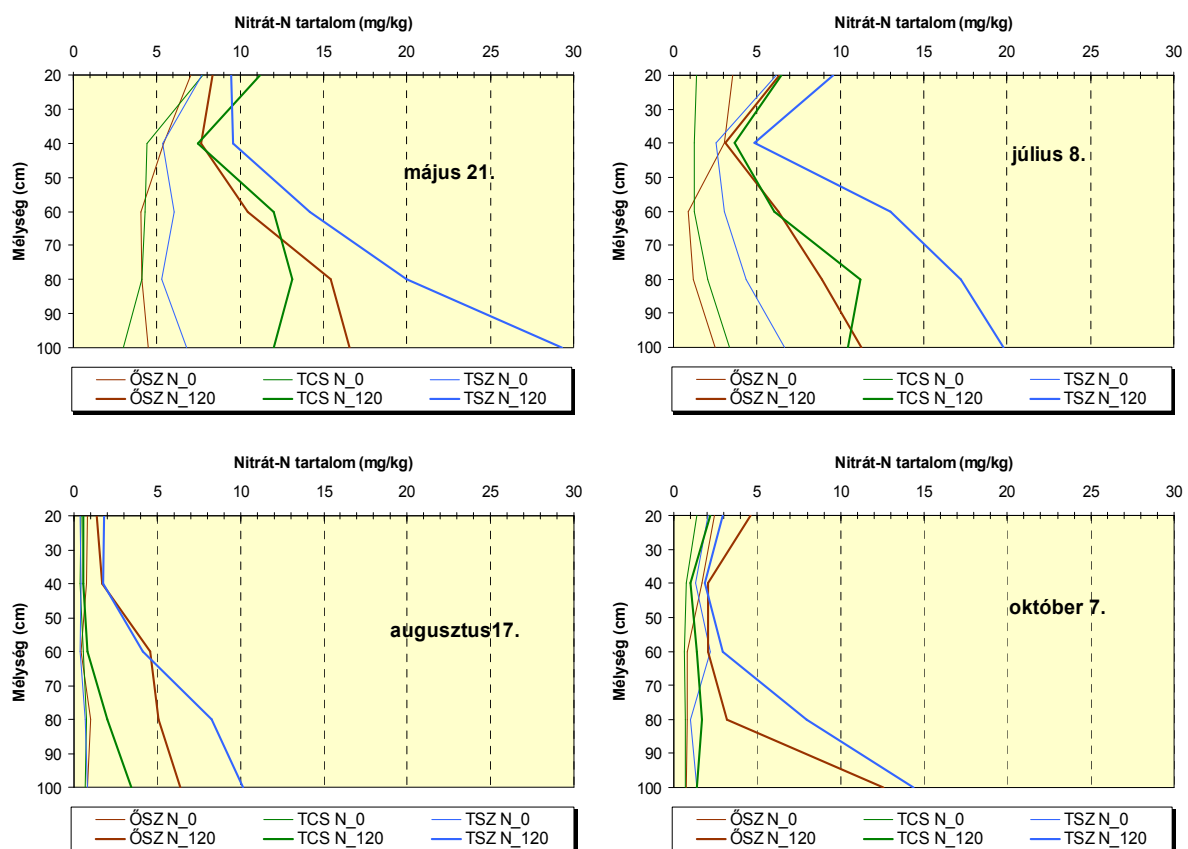
5. ábra.

Talajművelési eljárások hatása a talajnedvesség szelvénybeli eloszlására (Látókép, 2007)



## Ásványi N-eloszlás, -dinamika

A talaj ásványi N-készletének szezonális dinamikájában bekövetkezett változásokat elemezve megállapítottuk, hogy 2004-ben trágyázás nélkül - a korai vegetatív növekedés időszakától eltekintve - az alkalmazott talajművelési eljárásoknak nem volt hatása sem a  $\text{NO}_3\text{-N}$  mennyiségére sem szelvénybeli eloszlására. Ebben az időszakban (május-június) a tavaszi szántásban részesített parcellákon volt megbízhatóan nagyobb a talaj  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma. A vizsgált időszak mérési eredményei szerint műtrágyázott körülmények között a különböző mélységű talajművelési kezelések jelentős mértékben befolyásolták a talaj ásványi N-készletét. A talaj 0-100 cm-es rétegének  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma a tavasszal szántott kezelés esetén valamennyi mérési időpontban statisztikailag igazolhatóan meghaladta mind az őszi szántás mind a tavaszi sekélyművelés értékeit. A talajszelvény felvehető nitrogéntartalma mindhárom művelési változat esetében a felszíntől a mélyebb rétegek irányába haladva fokozatosan növekedett a trágyázás hatására. A tavasszal szántott kezelés esetén a 80-100 cm-es rétegben kismértékű felhalmozódást találtunk. Tavaszi sekélytárcsás művelés esetén a tenyészidőszak utolsó harmadától kezdve szignifikánsan kisebb  $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentrációt mértünk. A szántott kezelésekhez képest mintegy 30 %-kal volt kisebb a talaj  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma. (6., 10. ábra).

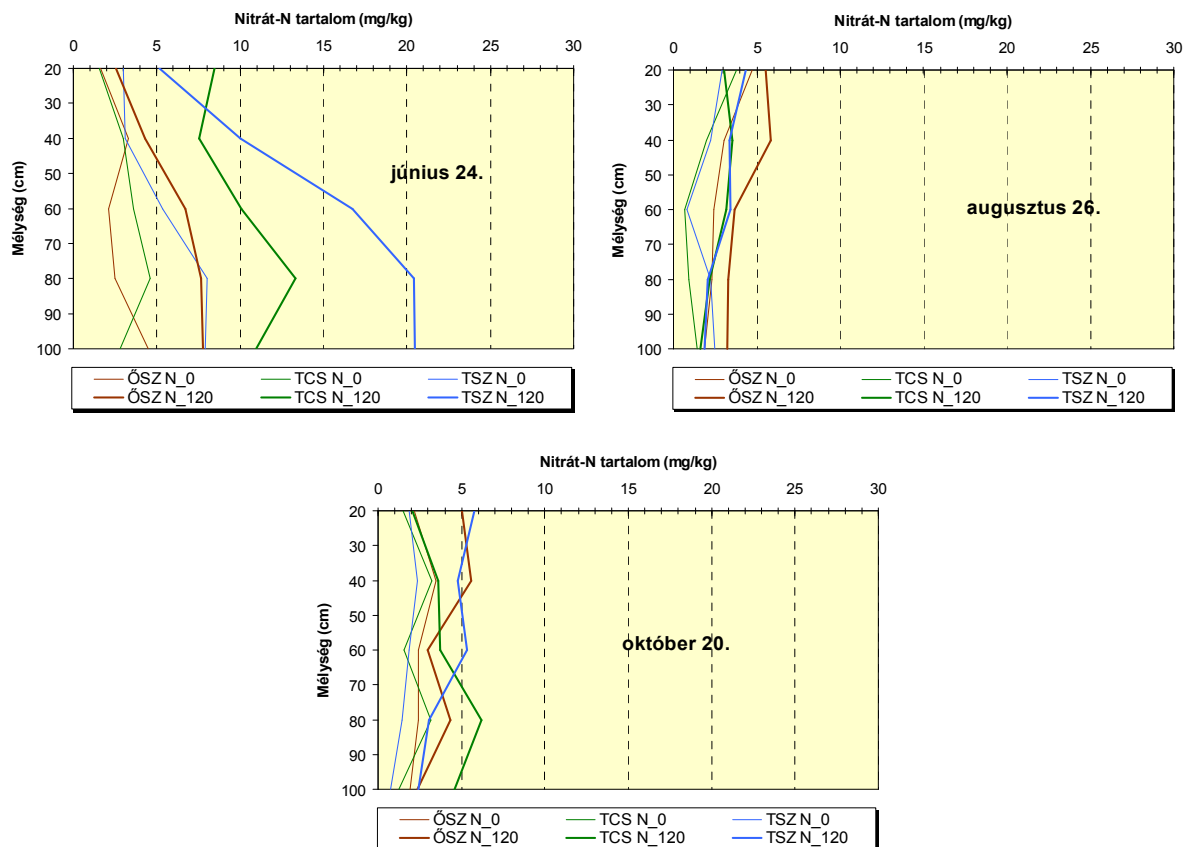


6. ábra.

### Talajművelés és műtrágyázás hatása a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmának tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2004)

A talaj ásványi N-készletének szezonális dinamikájában bekövetkezett változásokat elemezve megállapítottuk, hogy 2005-ben mind trágyázás nélkül mind műtrágyázott körülmények között a tavaszi szántásban részesített parcellákon volt megbízhatóan

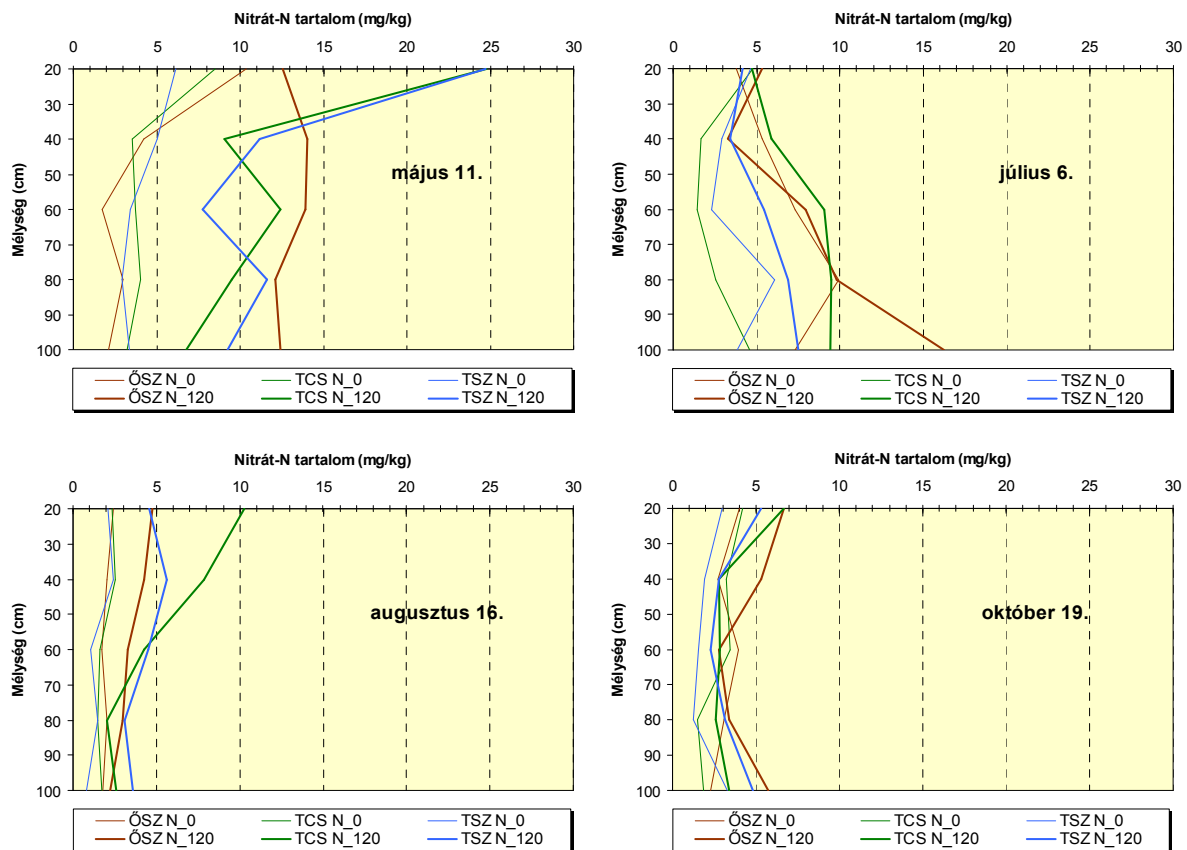
nagyobb a talaj  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma a korai vegetatív növekedés időszakában (május-június) (7. ábra). A trágyázás nélküli, természetes tápanyag-ellátottságú parcellákon a talajszelvény vizsgált rétegei ekkor jellemzően  $5\text{-}6 \text{ mg kg}^{-1}$   $\text{NO}_3\text{-N}$ -t tartalmaztak egyenletes eloszlásban, míg a trágyázott kezelésekben ez az érték  $10\text{-}20 \text{ mg kg}^{-1}$  körül változott. A vizsgált  $0\text{-}100 \text{ cm}$ -es talajszelvényre vonatkoztatva ezek az értékek a művelés módjától függően hektáronként  $50\text{-}70$ , illetve  $70\text{-}180 \text{ kg}$  nitrát-N-t jelentettek (10. ábra). Trágyázott körülmények között mind az őszi szántású és a tavaszi sekélyművelésű területek felső  $100 \text{ cm}$ -es szelvényének ásványi-N tartalma alacsonyabb volt a tavasszal szántott kezeléshez képest, annak mintegy  $40\text{-}80\%$ -át érte csak el. Trágyázás hatására a koncentráció mindhárom művelési változat esetében a felszíntől a mélyebb rétegek irányába haladva fokozatosan növekedett. A vizsgált legmélyebb  $100 \text{ cm}$ -es rétegben kismértékű felhalmozódást találtunk (főként a tavasszal szántott parcellák esetén). Az ősszel kijuttatott  $\text{NO}_3\text{-N}$  tehát nem halmozódott fel a felszínhez közeli rétegekben, hanem a kijuttatott mennyiség egy része a tél folyamán, valamint kora tavasszal hullott, nagy mennyiségű csapadék hatására a  $80\text{-}100 \text{ cm}$ -es, illetve az ez alatti talajrétegekbe mosódott le.



7. ábra.

**Talajművelés és műtrágyázás hatása a talaj  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmának tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2005)**

A további, a kukorica betakarításáig végzett mérések eredményei szerint trágyázatlan körülmények között a szelvény nitrát-N-tartalma fokozatosan csökkent a tenyészidőszak végére, addig a trágyázott területeken a csökkenés mértéke jóval szembeötlőbb volt: a tenyészidőszak utolsó harmadában, illetve betakarításkor a talajszelvény ásványi N-készletében nem mutattunk ki igazolható különbséget az eltérő tápanyag-ellátottságú területek között. A mérésekből nyilvánvaló volt az is, hogy az alkalmazott talajművelési eljárásoknak a korai vegetatív növekedés időszakától eltekintve nem volt hatása a vizsgált talajszelvény  $\text{NO}_3\text{-N}$  mennyiségére.



8. ábra.

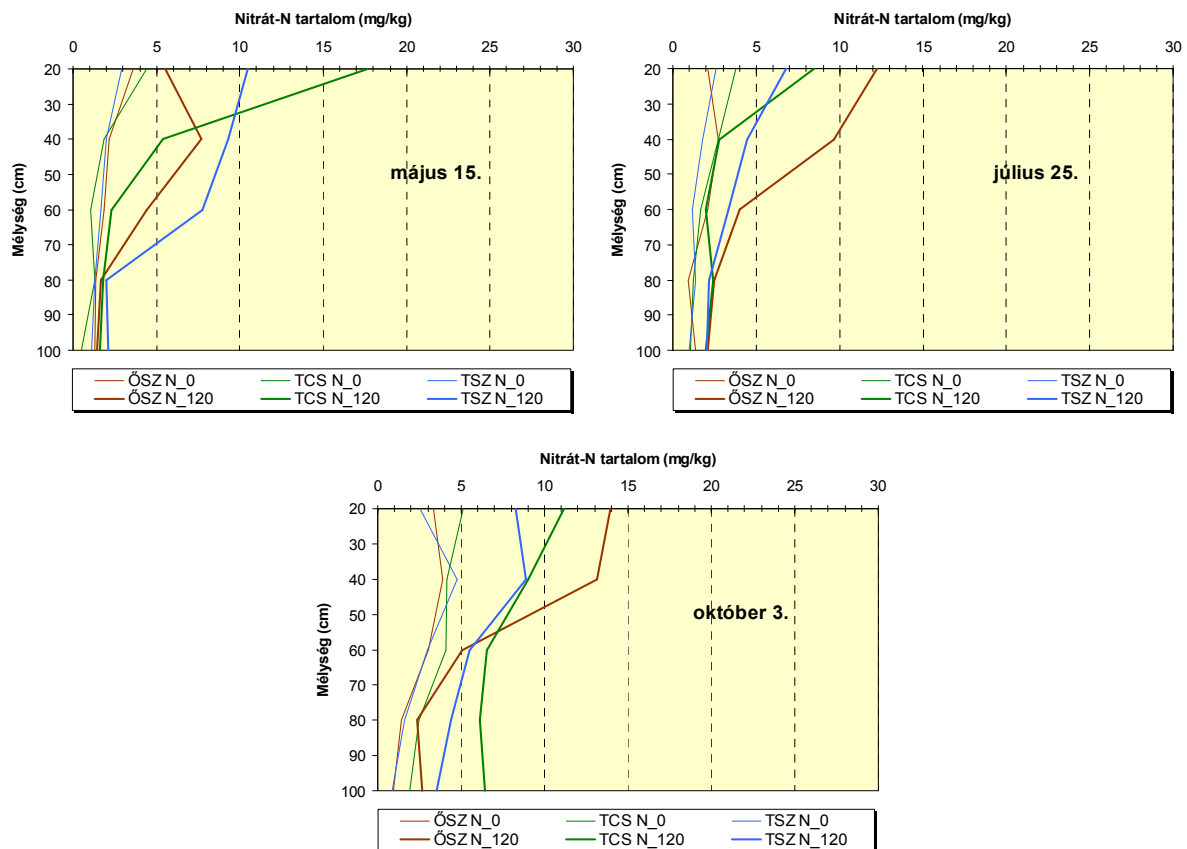
### Talajművelés és műtrágyázás hatása a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmának tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2006)

A 2006-os esztendő tenyészidőszakának kezdetén, vetéskor (május eleje) végzett mérések szerint a talaj 0-30 cm-es rétegének  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma a tavaszi szántásban részesített, valamint a tárcsás alpművelés esetén volt megbízhatóan nagyobb trágyázott körülmények között (8. ábra). Mindez egyrészt a kedvező csapadékviszonyok és a tavasszal elvégzett oxidatív viszonyokat biztosító szántásos alpművelés következtében előálló intenzív nitrát-feltárodással, másrészt pedig a sekély tárcsás alpművelés 15-20 cm-es szelvényben elhelyezkedő tömör művelőtalp rétegének kedvezőtlen, rossz vízáteresztő-képességével magyarázható. A mélyebb rétegek nitrát-N-tartalmára a talajművelésnek nem volt kimutatható hatása.

2006-ban a talajművelésnek nem volt szignifikáns hatása a talaj felső 100 cm-es rétegében tárolt nitrát-N mennyiségére sem a tenyészidőszak kezdetén sem a betakarítás idején (10. ábra). A tenyészidőszak intenzív csapadékviszonyaira utal,

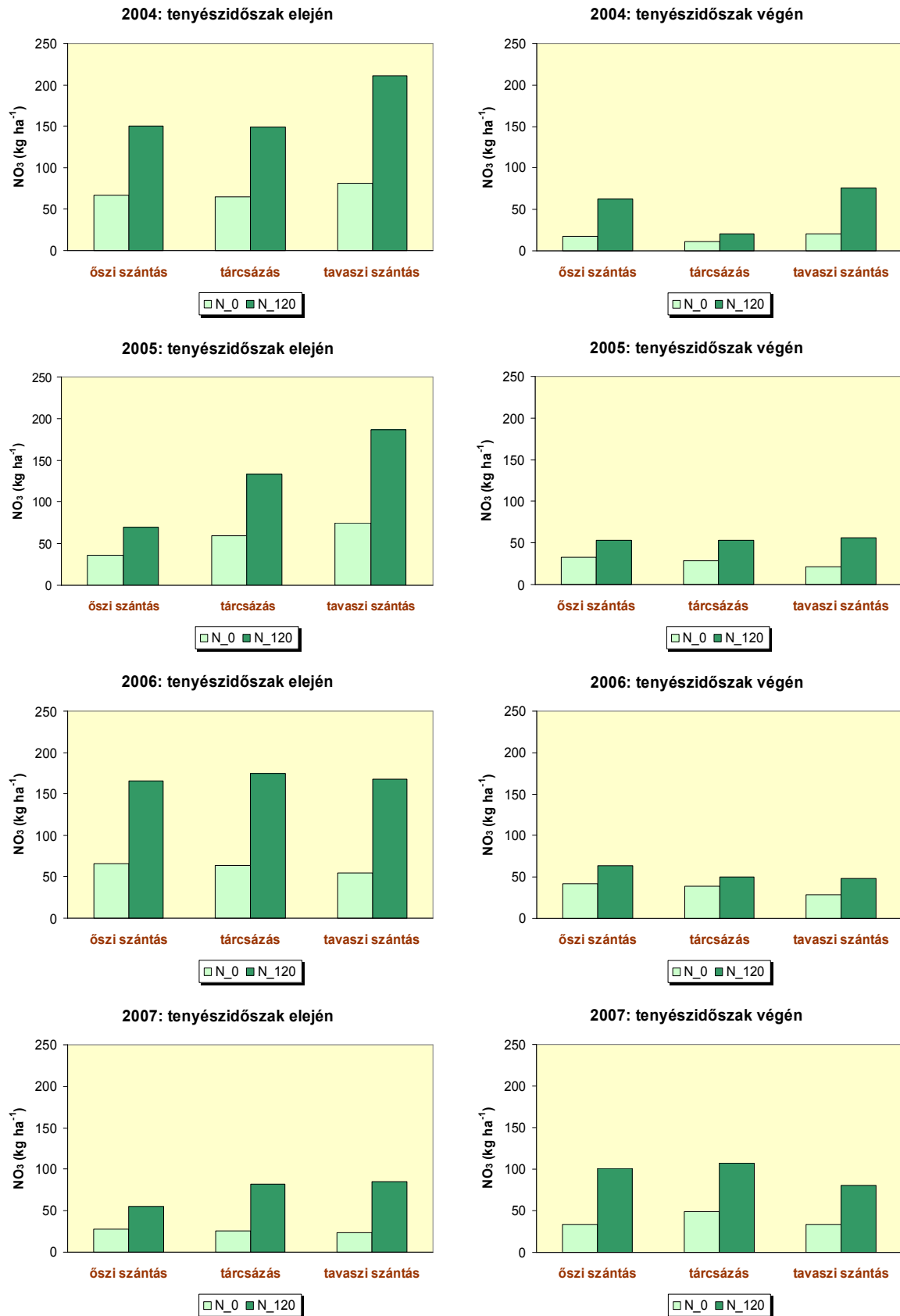
hogy a következő mérés (július eleje) alkalmával az alsó 80-100 cm-es rétegben kismértékű felhalmozódást találtunk a trágyázott kezelésekben. Az ezt követő mérésekkor viszont jellemzően kisebb ásványi N-tartalmak adódtak a talajszelelvényben, olyannyira, hogy betakarításkor nem találtunk igazolható különbséget sem a talajművelési, sem a trágyakezelések között. Mindez a jelzőnövény (kukorica) intenzív tápanyagfelvételével magyarázható.

A 2007-es esztendő igen száraz, csapadékszegény tenyészidőszakát a jellegzetes, a talaj felszínétől a mélyebb rétegek felé fokozatosan csökkenő  $\text{NO}_3\text{-N}$  profilok is tükrözték (9. ábra). A talaj felső, 0-40 cm-es rétegében felhalmozódott ásványi N azzal magyarázható, hogy a nitrogén egyrészt a csapadék hiánya miatt nem tudott a mélyebb rétegek irányába elmozdulni, másrészt a szárazság miatt visszaesett növényi tápanyagfelvétel is. A jellegzetes nitrát-profilok a tenyészidőszak végéig megmaradtak a talajban a vizsgálatok szerint. Az augusztus-szeptember hónapokban kissé megkésve érkező csapadék októberre újabb nitrát-N feltáródást indított el a talajban. A tenyészidőszak végén mért nitrát-N készlet mennyisége az előző évektől eltérően nagyobb volt, mint a tenyészidőszak kezdetén mért értékek (10. ábra).



9. ábra.

**Talajművelés és műtrágyázás hatása a talaj  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmának tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2007)**

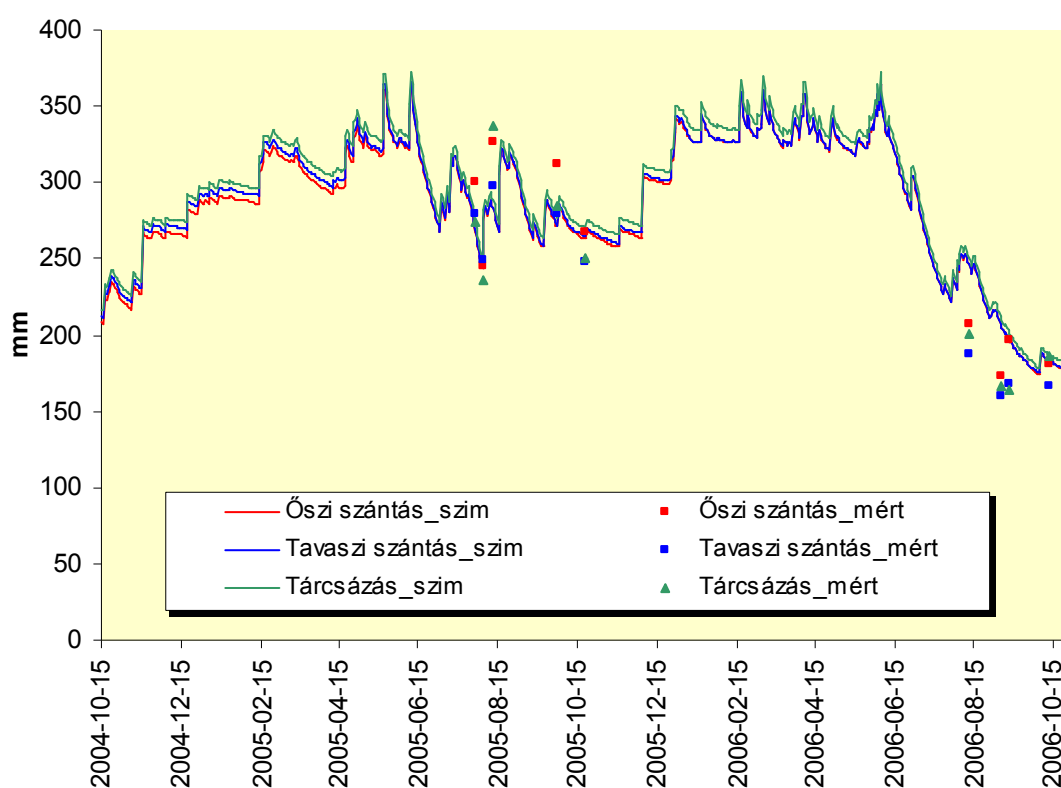


10. ábra. Talajművelés és műtrágyázás hatása a könnyen felvehető NO<sub>3</sub>-N-készlet alakulására a talaj felső 100 cm-es rétegében a tenyészidőszak elején és végén (Látókép, 2004-2007)

## A 4M növénytermesztési szimulációs rendszermodellel folytatott szimulációs vizsgálatok értékelése

### A becsült és a kísérletben mért talajnedvesség-tartalom szezonális dinamikájának összehasonlítása

A szimulációs görbék lefutása jól szemlélteti a vizsgált talajszelemben az egyes talajművelési kezelések között kialakult sorrendeket. 2005-ben a mért és modellezett talajnedvesség értékek között nem volt jelentős különbség. A 4M modell által becsült talajnedvesség adatok általában közel estek a mért adatokhoz, a becslés átlagos hibája 10%-on belül maradt. 2006-ban ezzel szemben 20-25%-kal nagyobb nedvességtartalmat becsült a modell valamennyi talajművelési kezelésben. A mért értékekhez az őszi szántás talajművelési változat becsült értékei illeszkedtek a legjobban, a becslés átlagos hibája 8% volt a két vizsgált évet tekintve (11. ábra).



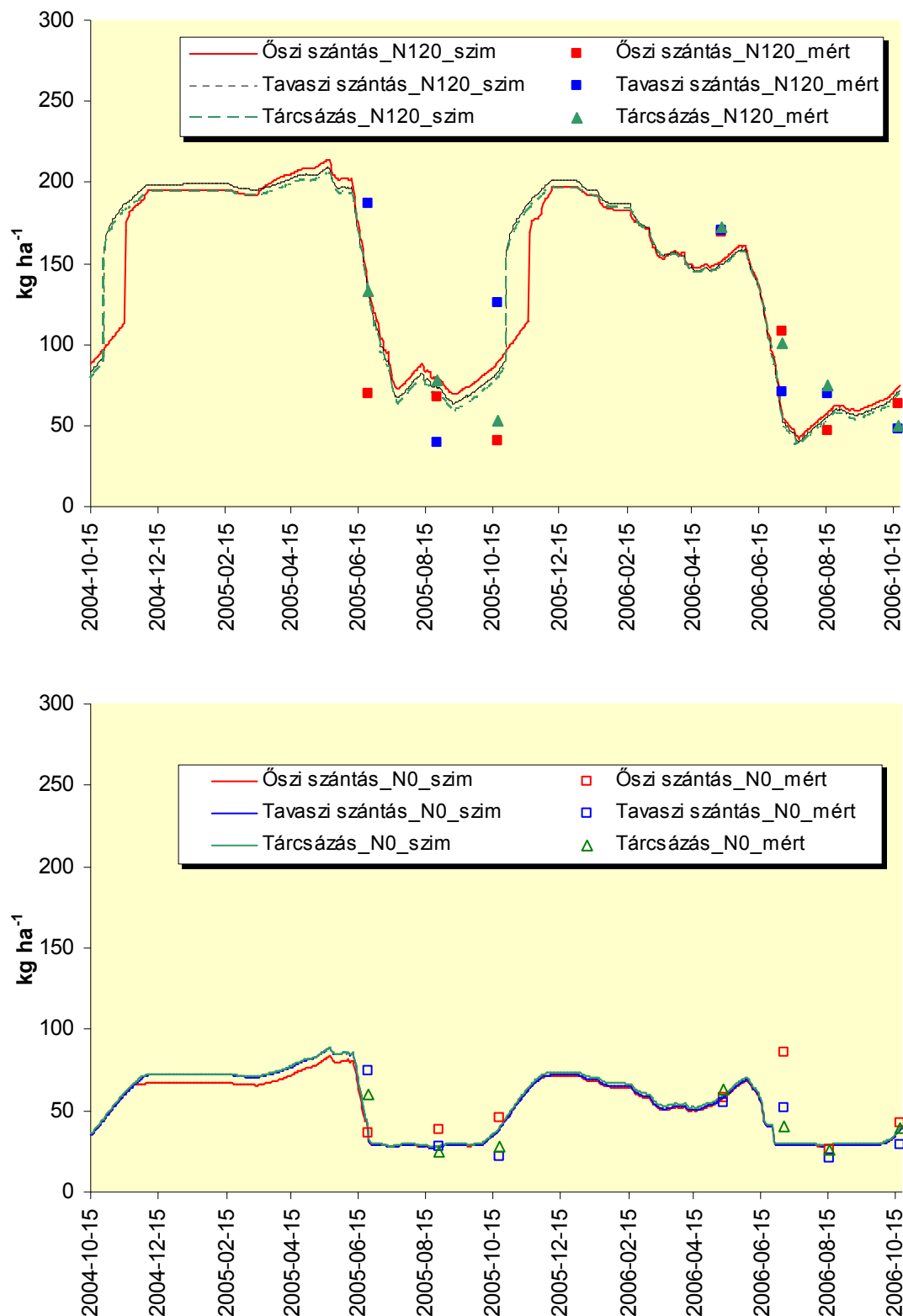
11. ábra.

### A talaj felső 100 cm-es rétegének becsült és mért nedvességtartalma (Látókép, 2004-2006)

### A becsült és a kísérletben mért nitrát-N-tartalom szezonális dinamikájának összehasonlítása

A 12. ábra jól szemlélteti, hogy a szimulációs görbék pontosan követik az egyes vizsgált évek korai vegetációs időszakában észlelt  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalombeli eléréseket. A becsült  $\text{NO}_3\text{-N}$  értékek valamennyi talajművelési kezelés esetén közel estek a mért értékekhez a tenyészidőszak elején, de a tenyészidőszak végére a modell túlbecsülte ezeket az adatokat. Ennek valószínűleg a modell által becsült

alacsonyabb növényi N-felvétel lehet az oka. Ez a hiányosság elsősorban trágyázott körülmények között lépett fel.



12. ábra.

**A talaj felső 100 cm-es rétegének becsült és mért nitrát-N tartalma (Látókép, 2004-2006)**

Az elvégzett szimulációs vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a modell nem minden esetben volt képes pontosan becsülni az egyes talajművelési eljárások hatását a talaj felső 100 cm-ében lezajló víz- és N-dinamikát illetően. A viszonylag gyenge szimulációs eredmények egyik lehetséges oka, hogy a modell speciális bemenő talajművelési paraméterként mindössze a térfogattömeg, a holtvíz, a szabadföldi vízkapacitás és a drén koefficiens értékét használja fel az egyes talajművelési módok hatásainak modellezésére, és egyáltalán nem veszi figyelembe a talaj makropórusainak szezonális dinamikáját. A modell által adott becslések felhívják a figyelmet arra, hogy szükség van a modell növényi növekedést, tápanyagfelvételt leíró elemeinek, illetve a talajfizikai komponensek módosítására a talajművelési változatok hatásainak pontosabb értékelése érdekében.

#### *A modell által becsült és a kísérletben mért terméseredmények*

A vizsgálatokat öntözetlen körülmények és 70000 tő ha<sup>-1</sup> növényszám mellett végeztük el a 2005-ös és a 2006-os évre vonatkozóan. Mindkét kísérleti évben a műtrágyázás nélküli és a N=120 kg ha<sup>-1</sup> dózisu parcellákat választottuk ki a tervezett vizsgálatokhoz. A szimulációs vizsgálatokba bevont hibrid 2005-ben és 2006-ban is a Goldaccord (FAO 330) volt. A modell által becsült és a mért terméseredményeket az 1. táblázat és a 13. ábra szemlélteti.

1. táblázat.

#### **A 4M modell által becsült és a kísérletben mért terméseredmények (Látókép, 2005-2006)**

Év	Kezelés	becsült	mért	eltérés
		t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	%
2004	Őszi szántás, N = 0 kg ha <sup>-1</sup>	6.60	6.89±1.19	-4.2
	Őszi szántás, N = 120 kg ha <sup>-1</sup>	10.52	10.56±0.43	-0.4
	Tavaszi szántás, N = 0 kg ha <sup>-1</sup>	9.37	8.40±1.78	11.6
	Tavaszi szántás, N = 120 kg ha <sup>-1</sup>	10.69	11.38±0.30	-6.1
	Tárcsázás, N = 0 kg ha <sup>-1</sup>	8.13	5.79±0.93	40.4
	Tárcsázás, N = 120 kg ha <sup>-1</sup>	10.92	10.52±0.76	3.8
2005	Őszi szántás, N = 0 kg ha <sup>-1</sup>	6.74	6.64±1.15	1.5
	Őszi szántás, N = 120 kg ha <sup>-1</sup>	11.10	10.10±0.30	9.9
	Tavaszi szántás, N = 0 kg ha <sup>-1</sup>	6.98	8.58±0.40	-18.6
	Tavaszi szántás, N = 120 kg ha <sup>-1</sup>	10.20	10.10±0.33	1.0
	Tárcsázás, N = 0 kg ha <sup>-1</sup>	6.99	6.32±1.23	10.6
	Tárcsázás, N = 120 kg ha <sup>-1</sup>	10.50	10.20±0.37	2.9
2006	Őszi szántás, N = 0 kg ha <sup>-1</sup>	6.09	5.15±0.43	18.3
	Őszi szántás, N = 120 kg ha <sup>-1</sup>	7.94	7.72±1.04	2.8
	Tavaszi szántás, N = 0 kg ha <sup>-1</sup>	6.12	6.59±0.42	-7.1
	Tavaszi szántás, N = 120 kg ha <sup>-1</sup>	8.94	7.75±0.40	15.4
	Tárcsázás, N = 0 kg ha <sup>-1</sup>	6.20	6.05±1.00	2.5
	Tárcsázás, N = 120 kg ha <sup>-1</sup>	9.66	7.87±1.23	22.7

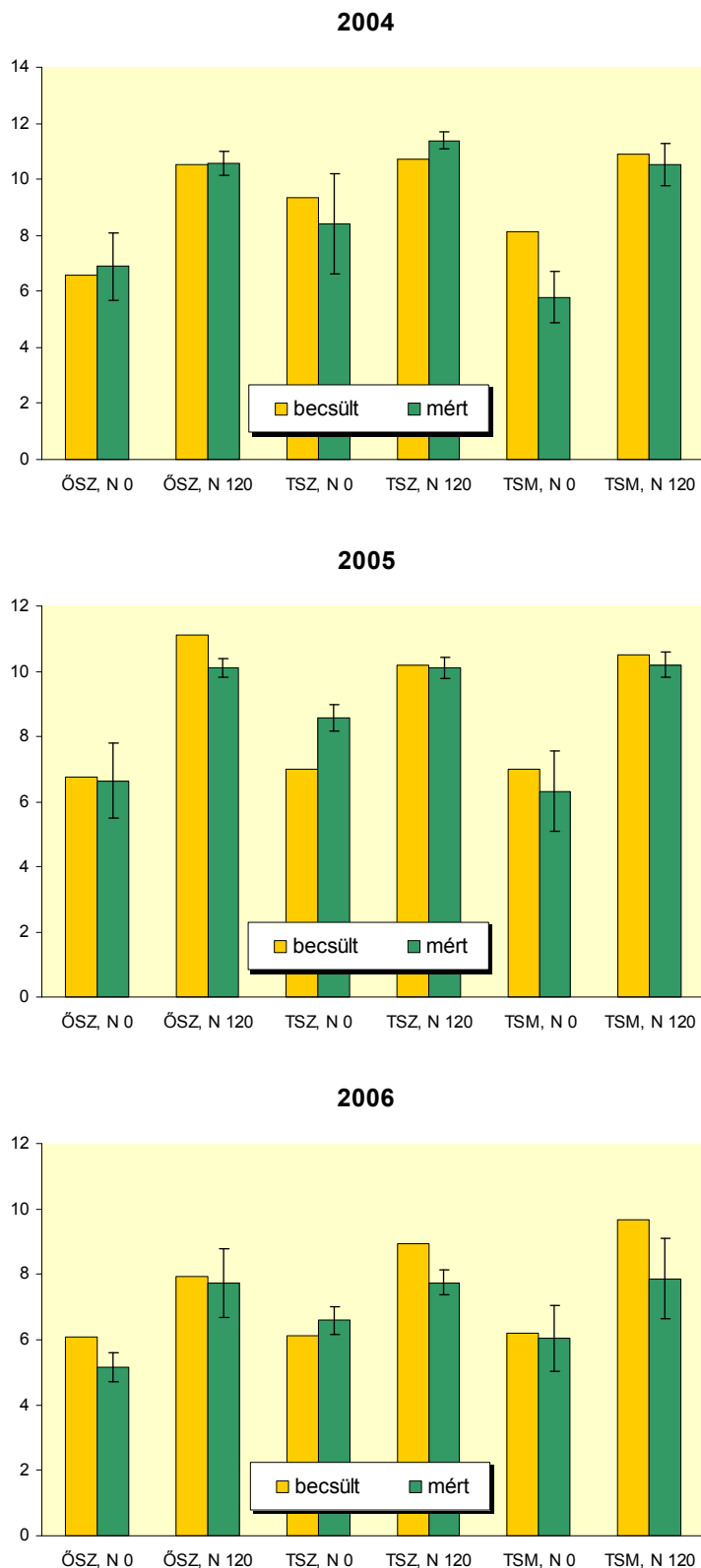
2005-ben a modell a tavaszi szántás trágyázás nélküli parcelláin közel 20%-kal alulbecsülte a kísérletben mért termésadatokat, az eltérés jóval meghaladta a hektáronkénti 1 tonnát. Trágyázott körülmények között az eltérés mindössze 1%, azaz 100 kg volt, ami a szórás terjedelmén belül maradt. Az őszi szántás és a tavaszi



sekélyművelés esetén a modell ugyan kismértékben túlbecsülte a mért értékeket, de a kapott szimulációs eredmények 10%-os hibahatáron belül maradtak mindkét trágyakezelésben. A modell a talajművelés, a trágyakezelések hatásait jól követte.

2006-ban a modell által adott becslés pontatlanabb volt az előző évinél. Három alkalommal 1 tonnát meghaladó ( $940-1790 \text{ kg ha}^{-1}$ ) eltérést kaptunk a mért termésekhez képest. Ezek az értékek abból adódtak, hogy a vizsgált kezelésekben a modell 15-23%-kal túlbecsülte a mért terméseredményeket.

A két évet együttesen értékelve megállapítható, hogy a becslés átlagos hibája ugyan 5.5%, ami kedvezőnek tűnhetne, azonban e mögött a kezelések egy részének jelentős, 20% körüli alá vagy túlbecslése hódzik meg. Az adatokból megállapítható továbbá, hogy a két vizsgált évet tekintve nem volt egy kitüntetett kezelés sem, amelyben a becslés pontossága szisztematikusan jobb/rosszabb lett volna.



12. ábra.

**A 4M modell által becsült és a kísérletben mért terméseredmények (Látókép, 2004-2006)**

ÓSZ: őszi szántás, TSZ: tavaszi szántás, TSM: tavaszi sekélyművelés, N 0: 0 kg ha<sup>-1</sup> N, N 120: 120 kg ha<sup>-1</sup> N

*A szimulációs modell által becsült N-mérlegek*

A szabadföldi tartamkísérletek N-forgalmának vizsgálatakor, a N-mérlegek hagyományos elkészítésekor számos olyan probléma vetődhet fel, amit szimulációs modellek segítségével kiküszöbölhetünk. Szimulációs modellekkel kellő pontossággal becsülhetők azok a nitrogén átalakulási és transzportfolyamatok (NO<sub>3</sub>-mineralizáció és NO<sub>3</sub>-kimosódás, denitrifikáció), amelyeket hagyományos szántóföldi vizsgálatok alkalmával nehezen, nagy költséggel határozhatunk csak meg.

A talaj ásványi N-készletének szezonális dinamikájában bekövetkező változások értékelését a 4M szimulációs modell által számított N-mérlegekkel is kiegészítettük. A szimulációs vizsgálatokat 2003-2006 között végeztük. Az egyes talajművelési és trágyázási kezelések hatását a modellezett N-mérlegek alakulására a 2-4. táblázatok szemléltetik.

## 2. táblázat.

**Őszi szántás nitrogén mérlegének alakulása a talaj 0-100 cm-es szelvényében (Látókép, 2003-2006)**

<b>0 kg N ha<sup>-1</sup></b>	<b>Induló, 2003.09.19</b>	<b>Egyenleg</b>	<b>Záró, 2006.10.20</b>
Talaj szerves N készlet [kg/ha]	29803		29417
Induló növényi maradvány N [kg/ha]	26		33
Talaj NO <sub>3</sub> -N készlet [kg/ha]	36		39
Talaj NH <sub>4</sub> -N készlet [kg/ha]	5		6
Kumulatív NO <sub>3</sub> kimosódás [kg/ha]		-43	
Kumulatív denitrifikáció [kg/ha]		-9	
Kijuttatott N-műtrágya [kg/ha]		0	
Kumulatív növényi maradvány N [kg/ha]		120	
Kumulált növényi N-felvétel [kg/ha]		-443	
N összesen [kg/ha]	29870	-375	29495
<b>120 kg N ha<sup>-1</sup></b>	<b>Induló, 2003.09.19</b>	<b>Egyenleg</b>	<b>Záró, 2006.10.20</b>
Talaj szerves N készlet [kg/ha]	29803		29571
Induló növényi maradvány N [kg/ha]	61		64
Talaj NO <sub>3</sub> -N készlet [kg/ha]	111		75
Talaj NH <sub>4</sub> -N készlet [kg/ha]	7		6
Kumulatív NO <sub>3</sub> kimosódás [kg/ha]		-112	
Kumulatív denitrifikáció [kg/ha]		-26	
Kijuttatott N-műtrágya [kg/ha]		360	
Kumulatív növényi maradvány N [kg/ha]		236	
Kumulált növényi N-felvétel [kg/ha]		-724	
N összesen [kg/ha]	29982	-266	29716

A szimulációs modell által adott futtatások alapján megállapítottuk, hogy a trágyázatlan parcellákon a 3 év alatt a talajművelés módjától függően átlagosan mintegy 400 kg ha<sup>-1</sup>-nyi ásványi N távozott a rendszerből, míg a tápanyaggal jól ellátott parcellákon mérsékeltebb volt a N-veszteség. A talaj szerves N készlete az őszi szántott, trágyázott kezelésben csökkent a legkevésbé, a modell a 3 éves futtatási időszak végén 266 kg ha<sup>-1</sup> N egyenleget becsült.

3. táblázat.

**Tavaszi szántás nitrogén mérlegének alakulása a talaj 0-100 cm-es szelvényében (Látókép, 2003-2006)**

<b>0 kg N ha<sup>-1</sup></b>	<b>Induló, 2003.09.19</b>	<b>Egyenleg</b>	<b>Záró, 2006.10.20</b>
Talaj szerves N készlet [kg/ha]	29741		29337
Induló növényi maradvány N [kg/ha]	32		42
Talaj NO <sub>3</sub> -N készlet [kg/ha]	88		39
Talaj NH <sub>4</sub> -N készlet [kg/ha]	7		6
Kumulatív NO <sub>3</sub> kimosódás [kg/ha]		-64	
Kumulatív denitrifikáció [kg/ha]		-9	
Kijuttatott N-műtrágya [kg/ha]		0	
Kumulatív növényi maradvány N [kg/ha]		151	
Kumulált növényi N-felvétel [kg/ha]		-522	
N összesen [kg/ha]	29868	-444	29424
<b>120 kg N ha<sup>-1</sup></b>	<b>Induló, 2003.09.19</b>	<b>Egyenleg</b>	<b>Záró, 2006.10.20</b>
Talaj szerves N készlet [kg/ha]	29741		29481
Induló növényi maradvány N [kg/ha]	53		72
Talaj NO <sub>3</sub> -N készlet [kg/ha]	112		72
Talaj NH <sub>4</sub> -N készlet [kg/ha]	8		6
Kumulatív NO <sub>3</sub> kimosódás [kg/ha]		-132	
Kumulatív denitrifikáció [kg/ha]		-26	
Kijuttatott N-műtrágya [kg/ha]		360	
Kumulatív növényi maradvány N [kg/ha]		245	
Kumulált növényi N-felvétel [kg/ha]		-730	
N összesen [kg/ha]	29914	-283	29631

4. táblázat.

**Tavaszi sekélyművelés nitrogén mérlegének alakulása a talaj 0-100 cm-es szelvényében (Látókép, 2003-2006)**

<b>0 kg N ha<sup>-1</sup></b>	<b>Induló, 2003.09.19</b>	<b>Egyenleg</b>	<b>Záró, 2006.10.20</b>
Talaj szerves N készlet [kg/ha]	30467		30070
Induló növényi maradvány N [kg/ha]	13		39
Talaj NO <sub>3</sub> -N készlet [kg/ha]	66		39
Talaj NH <sub>4</sub> -N készlet [kg/ha]	5		5
Kumulatív NO <sub>3</sub> kimosódás [kg/ha]		-57	
Kumulatív denitrifikáció [kg/ha]		-14	
Kijuttatott N-műtrágya [kg/ha]		0	
Kumulatív növényi maradvány N [kg/ha]		116	
Kumulált növényi N-felvétel [kg/ha]		-443	
N összesen [kg/ha]	30551	-398	30153
<b>120 kg N ha<sup>-1</sup></b>	<b>Induló, 2003.09.19</b>	<b>Egyenleg</b>	<b>Záró, 2006.10.20</b>
Talaj szerves N készlet [kg/ha]	30467		30296
Induló növényi maradvány N [kg/ha]	49		77
Talaj NO <sub>3</sub> -N készlet [kg/ha]	113		69
Talaj NH <sub>4</sub> -N készlet [kg/ha]	7		6
Kumulatív NO <sub>3</sub> kimosódás [kg/ha]		-129	
Kumulatív denitrifikáció [kg/ha]		-40	
Kijuttatott N-műtrágya [kg/ha]		360	
Kumulatív növényi maradvány N [kg/ha]		245	
Kumulált növényi N-felvétel [kg/ha]		-724	
N összesen [kg/ha]	30636	-288	30348

A modell által adott futások eredményei szerint a kumulatív  $\text{NO}_3$ -kimosódás trágyázás hatására 2-2.5-szeresére növekedett. A kimosódás mértéke a szántott kezelésekben nagyobb volt, mint a tavaszi, tárcsára alapozott sekélyművelés esetén. Ezzel szemben a modell által becsült denitrifikáció a szántást mellőző tavaszi sekélyművelésben volt nagyobb mértékű, ami a trágyázás hatására tovább növekedett. Ez a sekély tárcsás alapművelés 15-20 cm-es szelvényében elhelyezkedő tömör művelőtalp kedvezőtlen, rossz vízgazdálkodásával, a szellőzetlen talajra jellemző reduktív folyamatok túlsúlyával magyarázható.

A szimulációs vizsgálatok szerint a műtrágyázás növelte mind a  $\text{NO}_3$ -kimosódást mind a nitrogén denitrifikációját. A vizsgálatok szerint a talaj felső 100 cm-éből 3 év alatt mintegy  $110\text{-}130 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  mosódik ki, ami a kísérletben alkalmazott egy évi közepes trágyaadagnak felel meg. Ez a mennyiség azonban nem tekinthető teljes mértékben veszteségnek, hiszen a kukorica a vizsgált talajrétegnél kisebb mértékben ugyan, de hasznosíthatja a 100-200 cm-es talajszelvény N készletét is.