

1. BEVEZETÉS

A korszerű termesztéstechnológia a vegyszerek minimalizálását és azok hatékony felhasználását célozza. E kérdéskörben a növényvédelem mellett kulcsszerepe van a tudományosan megalapozott, harmonikus tápanyag utánpótlásnak, amelyet az összetett feltételrendszer elemeinek optimális kombinációjával lehet megteremteni. A feltételek részben előkészítésből állnak (talajvizsgálat, hozammérés, táblatérkép készítés stb.), részben a felhasznált tápanyag legfontosabb jellemzőinek ismeretén nyugszanak, részben műszaki jellegűek.

Magyarországon a tápanyagellátásban a műtrágya dominál, hiszen a szerves trágya termelő kapacitás (0,5 állat/ha) a teljes tápanyagigény egy ötödét tudja fedezni. Természetes ugyanakkor, hogy a rendelkezésre álló szerves trágya, komposzt, melléktermék célszerű felhasználása fontos.

Ma a műtrágya jelentős részét világviszonylatban röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépekkel jutatják ki, hazánkban is ennek használata általános, ezért munkámban e gépek fejlesztését tűztem ki célul. Fontos, hogy ezek jól szabályozható, a kijuttatott mennyiség pontos mérésére és ellenőrzésére alkalmas, egyenletesen szóró gépek legyenek. A hatékony műtrágya kijuttatást számos feltétel befolyásolja. Ezek közül is meghatározó:

- a műtrágyák jellemzői
- a gép konstrukciója;
- a gép szakszerű beállítása és üzemeltetése.

A fenti szempontokat is szem előtt tartó, termőhely-specifikus tápanyagellátással a termesztés gazdaságosságának fokozása, a környezetkímélő gazdálkodás, az ellenőrzött minőségű termény biztosítható. A fenti feltételek mindegyikének azonos fontossága van, hiszen bármelyik hiánya csökkentheti, vagy megakadályozhatja a kitűzött cél elérését.

A műtrágyák fizikai jellemzői jelentősen befolyásolják hatékony felhasználásukat, ezért ezek ismerete elengedhetetlen.

A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek tervezésénél és üzemeltetésénél alapvető kérdés a gép optimális munkaminősége. Ennek biztosításához elsősorban a műtrágya keresztirányú eloszlására ható főbb tényezők meghatározása fontos. A

műtrágyaszemcsék keresztirányú szórásképpen történő elhelyezkedésére ható tényezők közül a legfontosabbak azok, amelyek befolyásolják a műtrágyaszemcsék mozgását a röpitőtárcsa és a lapátok felületén, illetve meghatározzák azt, hogy a szemcsék a röpitőtárcsát, illetve a szórólapátot a haladási irányhoz képest hol, mekkora sebességgel és milyen irányban hagyják el, és azokat a levegőben repülés közben milyen hatások érik. Tekintettel arra, hogy az alkalmazott műtrágyák fizikai jellemzői eltérőek, a szórószerkezetet úgy kell kialakítani, hogy különböző fizikai jellemzőkkel bíró műtrágyák esetén is biztosítható legyen az optimális munkaminőség. Ezt a fentiekén túl a műtrágyaszóró gépek szakszerű üzemeltetésével lehet elérni.

A TORNÁDÓ INTERNATIONAL KFT és annak elődje évtizedek óta gyárt műtrágyaszóró gépeket. A sorozatban gyártott gépek technikai színvonala a fejlesztési és gyártási időszak agrotechnikai követelményét kielégítették. Ezeket a követelményeket azonban fokozatosan szigorították, elsősorban a műtrágyák hatékonyabb kijuttatása, a termények minőségének javítása és a környezet terhelésének csökkentése érdekében. Így a műtrágyaszóró gépek folyamatos fejlesztése a gyártó cégek piacon maradásának elengedhetetlen feltétele. Csatlakozásunk az Európa Unióhoz a műtrágyaszóró gépekkel kapcsolatos előírásokat is más megvilágításba helyezte, hiszen az ott érvényes előírásokat kell a gépek fejlesztésénél, üzemeltetésénél figyelembe venni. Ezek alapján célul tűztem ki, hogy a sorozatban gyártott gépeink új, az Európa Unióban érvényes előírásokat is kielégítő generációja kifejlesztéséhez megfelelő alapokat dolgozzak ki. Ennek megvalósítása érdekében tanulmányozom a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek munkaminőségét befolyásoló legfontosabb tényezőket, elemzem a szórás elméletét, megvizsgálom a legfontosabb szerkezetek lehetséges változatait, és ezek alapján meghatározom a gépek továbbfejlesztésének alapfeltételeit.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatási célok eléréséhez olyan kísérleti műtrágyaszóró gépet terveztem, mely lehetővé tette az általunk gyártott függesztett és vontatott gépek munkaszelését és szórás egyenlőtlenségét befolyásoló fontosabb jellemzők vizsgálatát és elemzését.

Ennek megfelelően a munkaszelés és a szórás egyenlőtlenség függvényében az alábbi tényezők hatását vizsgáltam:

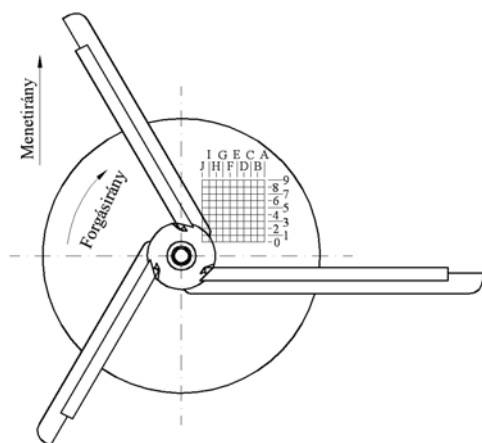
- az alkalmazott műtrágyák fizikai jellemzői;
- az adagolás helye a röpitő tárcsa felületén;
- a műtrágya áram nagysága;
- a szórólapátok száma;
- a szórólapátok alakja;
- a szórólapátok sugáriránnyal bezárt szöge.

A gép tartálya csak a kísérletekhez szükséges műtrágya befogadására alkalmas térfogatú. A tartályból a műtrágyát lánc illetve szalag juttatja ki. A két adagoló szerkezet közötti különbség elsősorban a haladási irányú szórás egyenlőtlenség mértékében jelentkezik. A szalagos adagoló szerkezet hosszirányú szórás egyenlőtlensége kisebb. A két kihordó szerkezetet alternatívaként azért célszerű megtartani, mert a gyakorlat jelenleg a megszokott láncos kihordót preferálja. A láncos kihordó adagolási ciklikusságát a fenéklemez célszerű kialakításával lehet csökkenteni.

A terület egységre jutó műtrágya mennyisége résszabályozással változtatható. Az alkalmazott résszabályzó a szokásos lánc- és szalagsebesség mellett legfeljebb 800-1000 kg/ha műtrágyamennyiség beállítását teszi lehetővé, amely a mai követelményeknek megfelel.

Az adagoló szerkezettől a műtrágya elosztó szerkezethez jut, amely egyben az adagolási hely állítását is biztosítja. A mátrix rendszerű adagolási hely állítás pontos azonosítást jelent és biztosítja a megismételhetőséget **(1. ábra)**.

A kísérleti gép kéttárcsás szóró szerkezete két- és háromlapátos szórótárcsákkal szerelhető fel. A lapátok különböző hosszúságúak. A lapátok hátfala a tárcsa síkjára merőleges, vagy azzal tompaszöget zár be.



**1. ábra. A röpítőtárcsa felületéhez
viszonyított adagolási helyek**

A keresztirányú szórás egyenlőtlenség vizsgálatokat a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Kar Géptani Tanszékének mérőpályáján végeztem. Az alkalmazott szóró szerkezet paraméterei által meghatározott szóró szélességtől függően 42 m vagy 50 m széles mérőpályát használtam. A mérési adatok kiértékelését célszoftver biztosítja, amelynek segítségével számítógép határozza meg a szóró szerkezet legfontosabb munkaminőségi jellemzőit. A műtrágyaszóró gépek keresztirányú szórás egyenlőtlenségének jellemzésére -a nemzetközi szabványnak megfelelően- három értéket használtam, amelyeket az alábbi összefüggések segítségével határoztam meg:

Közepes eltérés (e_k)

$$e_k = \frac{100}{\bar{x}_i} \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}_i|}{n} \quad [1]$$

Ahol: x_i a háromszori ismételten során egy mérőhelyen felfogott műtrágya mennyiségek átlaga;

$\bar{x}_i$ a háromszori ismételten során az összes mérőhelyen felfogott magmennyiségek átlaga;

n a mérőhelyek száma.

e_k megengedett értéke 10 %.

Variációs tényező (CV)

$$CV = \frac{100}{\bar{x}_i} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}}{n-1} \quad [2]$$

CV megengedett értéke 15 %.

Legnagyobb eltérés (e_{max})

$$e_{max} = \frac{100}{\bar{x}_i} |x_i - \bar{x}_i| \max \% \quad [3]$$

e_{max} megengedett értéke 20 %.

Egy-egy mérés eredménye mérőlapon jeleníthető meg.

A vizsgálatok során változó jellemzők:

- az adagoló állása;
- az adagolási hely;
- a szórólapátok száma;
- a szórólapátok hossza;
- a szórólapátok sugáriránnyal bezárt szöge;
- a szórólapátok hátlapjának dőlésszöge.

A vizsgálatok során változatlan jellemzők:

- | | |
|---|-------------|
| - a röpitőtarcsa mérő tálcasor feletti magassága: | 700 mm; |
| - a röpitőtarcsa síkja: | vízszintes; |
| - a röpitőtarcsa tengely távolsága: | 900 mm; |
| - a röpitőtarcsa fordulatszáma: | 840 1/min; |
| - a mérés során alkalmazott menetsebesség: | 8 km/h. |

A vizsgálatokhoz öt különböző fizikai jellemzőkkel bíró műtrágyát használtam.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A tartály fontosabb paramétereinek meghatározása

A függesztett gépek fejlesztésénél két tartály nagyságrendet célszerű figyelembe venni. 800 és 1500 dm³ úgy, hogy toldatokkal 1000-2000 dm³-ig növelhető legyen. Vontatott gépek esetén 4000 dm³ tartálynagyság a cél, amely toldatokkal 5000 dm³ -ig növelhető. A tartály alakja egytárcsás gépeknél csonka kúp, vagy csonka gúla, kéttárcsás gépek esetén kettős csonka kúp, vagy csonka gúla, felső részén egységesített hasáb alakkal. A tartályt célszerű minél szélesebbre és alacsonyabbra készíteni, hogy könnyű feltöltését biztosítsa. A tartály szélességénél és oldalszögének meghatározásánál nem hagyható figyelmen kívül a műtrágyák rézsűszöge. A legnagyobb rézsűszögű műtrágyát kell alapul venni, ami a jelenleg alkalmazott műtrágyák közül a hidegen granulált összetett műtrágya rézsűszöge (38°). A technológiai zavarok kivédése érdekében a tartályba 30 mm-nél nagyobb rögméretet kizáró, felhajtható és kiemelhető rács kerül. A tartály nyitható fedéllel készül.

3.2. Boltozódás gátló szerkezet

A gravitációs adagolású gépek tartályába, a műtrágyaáram folyamatosságának biztosítása érdekében forgó, vagy lengő boltozódás gátló szerkezetet kell beépíteni. A műtrágya aprításának megakadályozása érdekében a boltozódás gátló fordulatszáma vagy lengésszáma ne érje el a 200 1/min értéket, és ne legyen éles felülete.

3.3. Kihordó szerkezet

A vontatott gépeknél a műtrágyát kihordó szerkezet szállítja az adagolórészhez. Alternatív megoldásként szállítószalag és lánc alkalmazható. A kihordó szerkezet a hajtást járókerékről dörzskerék segítségével kapja. Ebben az esetben a jármű sebességváltozása a területegységre jutó műtrágya mennyiséget nem befolyásolja. A műtrágya mennyisége résszabályozással állítható. A hosszirányú szórás egyenlőtlenség csökkentése érdekében a gyorsabb és keskenyebb szállító szerkezet és a kisebb adagolórész a kedvező. A nagy szállító szerkezet sebesség kis rés mellett ugyanakkor jelentősen terheli a tartály hátsó falát, valamint műtrágya aprítását okozza. Ebben a vonatkozásban a kis szállító szerkezet sebesség és a nagyobb résméret kedvezőbb. Kompromisszum szükséges tehát a helyes arányok megválasztásához.

A szállító szerkezet sebességét (v_{sz}) az alábbi összefüggés segítségével határoztam meg:

$$v_{sz} = \frac{B v_h Q_n}{600 a b \gamma} \text{ [m/min]} \quad [4]$$

ahol:

- B a gép munkaszélessége [m]
- v_h a gépcsoport haladási sebessége [km/h]
- Q_n az egy hektárra kiszórandó műtrágya mennyisége [kg/ha]
- a az adagolórés szélessége [m]
- b az adagolórés nyílásának magassága [m]
- γ az alkalmazott műtrágya térfogattömege [kg/m³]

A tervezésnél figyelembe vett adatokkal nagyobb műtrágya mennyiséghez (450 kg/ha felett) 3,5 m/min, kisebb műtrágya mennyiséghez (450 kg/ha alatt) 1,5 m/min lán sebességet célszerű alkalmazni.

3.4. Résállító szerkezet

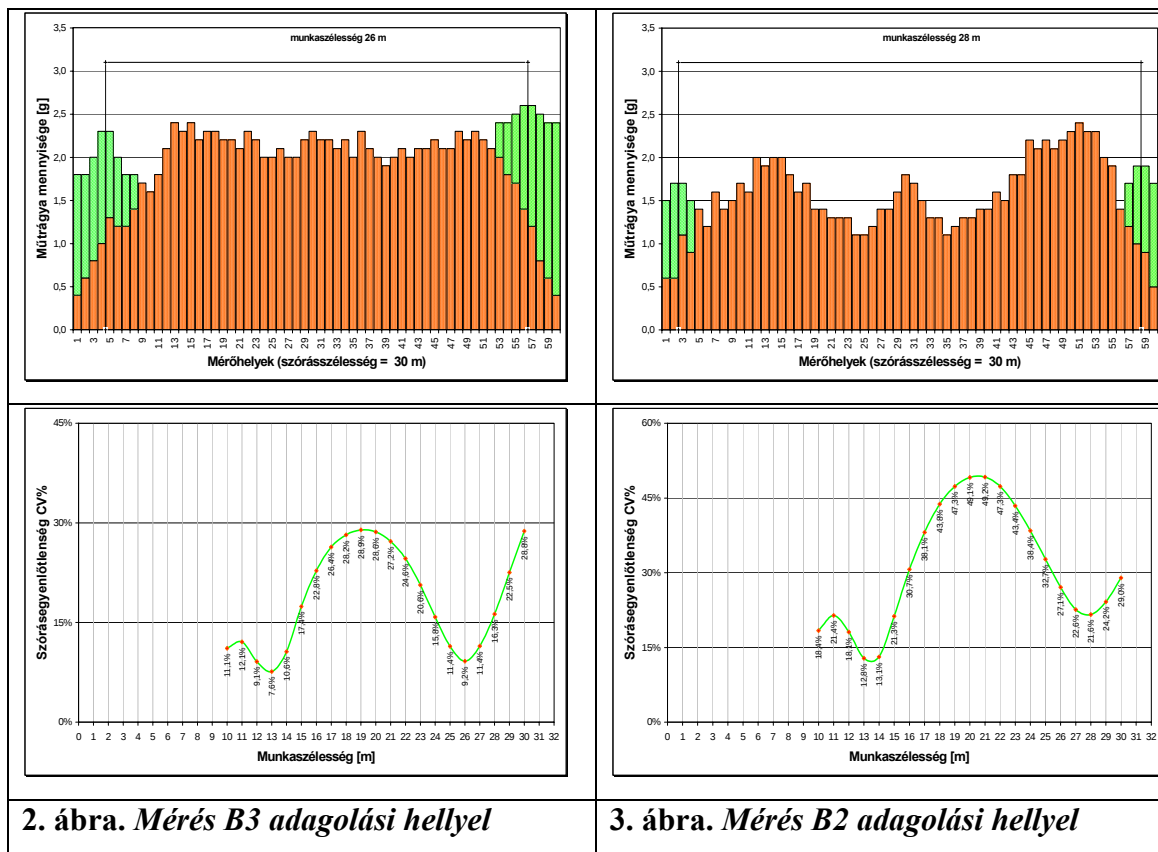
A függesztett gépek gravitációs adagolását a tartály alsó részén kiképzett résállító szerkezet biztosítja. A rés alakjának kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy kis adagnál is kedvező keresztmetszet formát biztosítson és a kijuttatott mennyiség a rés nagyságával lehetőleg lineárisan változzon. A résállító szerkezet mozgatása a kisebb gépnél lehet kézi, a nagyobbban a vezető kabinból irányítható gépi mozgatású legyen. A vontatott gépnél a kihordó szerkezet által szállított műtrágya rétegvastagsága és ezzel az időegység alatt kiadagolt műtrágya mennyisége résszabályzó szerkezettel állítható. A résszabályzó kézi orsóval fel-le mozgatható tolózár, amelynek helyzetét skála határozza meg. Az adagolórés legnagyobb mérete 420/170 mm, a legkisebb ajánlott rés méret értéke 20 mm. A hely-specifikus tápanyag kijuttatás feltételének megteremtése érdekében alternatívaként megoldandó a résállító szerkezet villanymotoros mozgatása.

3.5. Elosztó és adagolási hely állító szerkezet

Az adagolási hely -egyéb paraméterek mellett- meghatározza, hogy a műtrágya a haladási irányhoz képest milyen irányban és sebességgel jut ki a szóró szerkezetről. Az adagolási hellyel a szórásképe jellege (trapéz formájú, vagy háromszög alakú) is változtatható. Szimmetrikus szórásképe csak az adagolási hely pontos beállításával érhető el. Ezért az adagolási hely állításának kiemelt jelentősége van. Az eltérő fizikai jellemzőkkel rendelkező műtrágyák szimmetrikus szórása csak eltérő adagolási hely beállításával biztosítható. A kéttárcsás műtrágyaszóró gépeknél fontos, hogy az adagoló

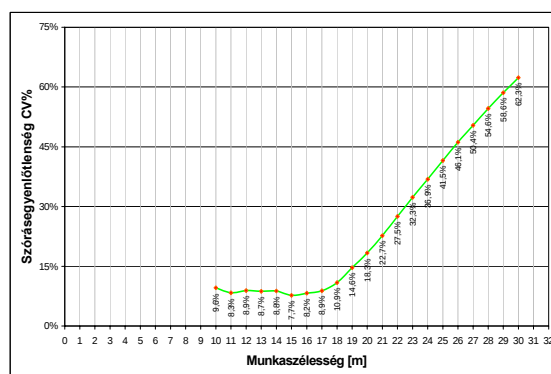
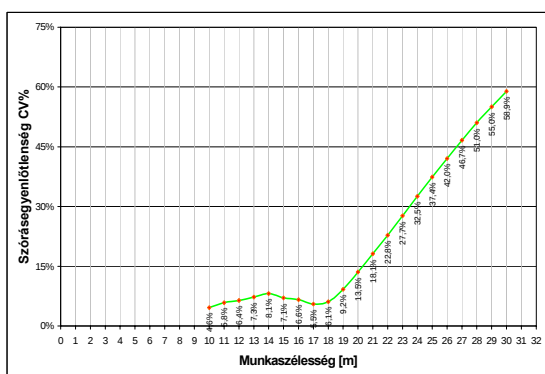
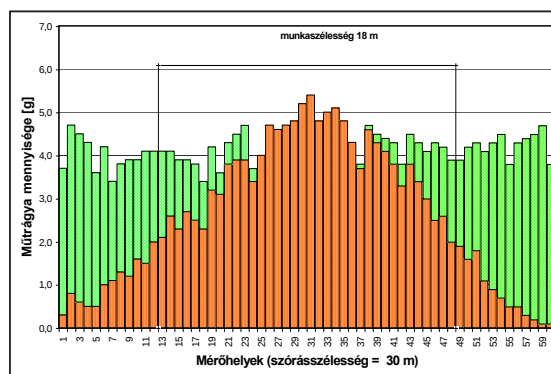
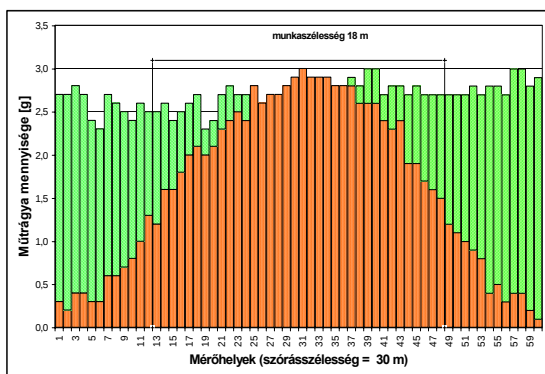
szerkezet azonos műtrágyamennyiséget biztosítson a két tárcsára. Eltérő mennyiség esetén aszimmetrikus szórás kép keletkezik, ami megakadályozza a megkívánt keresztirányú szórás egyenletesség elérését.

Az adagolási hely jelentősen befolyásolja a gép keresztirányú szórás egyenlőtlenségét (2 és 3. ábra).



A két ábra azonos beállítás eredménye, csupán az adagolási hely módosult (az alkalmazott műtrágya: ammóniumnitrát, adagoló állás: 3, adagolási hely: B3/B2, lapátok száma: 2, lapátbeállítás: A90°). Az ábrák alapján megállapítható, hogy pontosan beállított adagolási hellyel (B3) a kísérleti gép a fenti beállítással 26 m munkaszélességnél 9,2 % CV értéket biztosított. A fenti beállítás mellett a szórás kép szimmetria 99,82 %-volt. Egy fokozattal módosított adagolási hely (B2) következtében, ami kevesebb, mint 10 mm-es adagolási hely elmozdulást jelentett, a szórás kép jellege teljesen megváltozott. A műtrágya nagyobb mennyisége a szórás kép két oldalára került, ezzel kis mértékben növekedett a munkaszélesség (28 m), azonban 12,4 %-al nőtt a szórás egyenlőtlenség (CV=21,6 %), egyben a szórás kép szimmetria 83,54 %-ra csökkent. Az optimális adagolási hely megfelelő kísérleti háttérrel határozható meg.

Az eltérő fizikai jellemzőkkel rendelkező műtrágyák eltérő adagolási helyet igényelnek. Azok a gépek használhatók hatékonyan, amelyeknél az adagolási hely állítható. Példaként ammóniumnitrát és kálisó műtrágyákkal végzett mérés eredményét mutatom be (4. és 5. ábra).

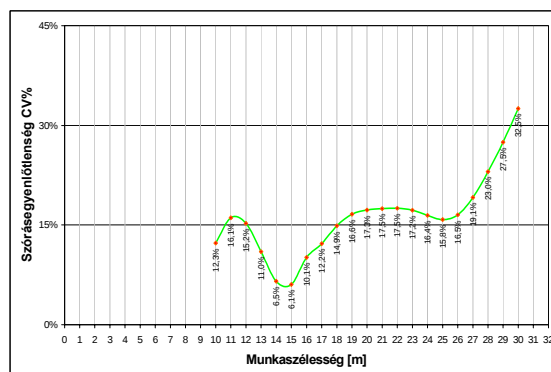
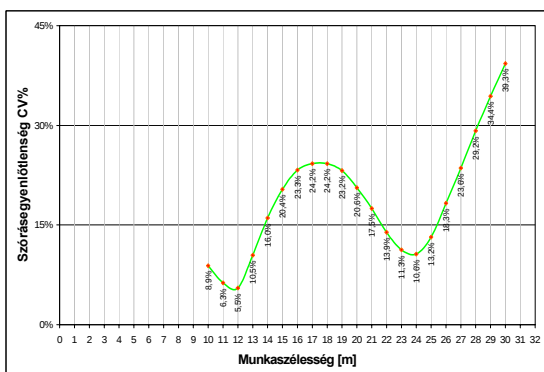
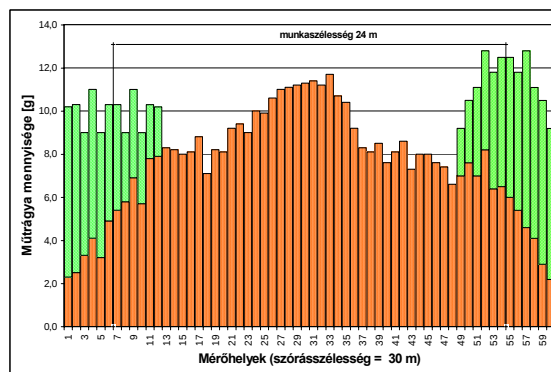
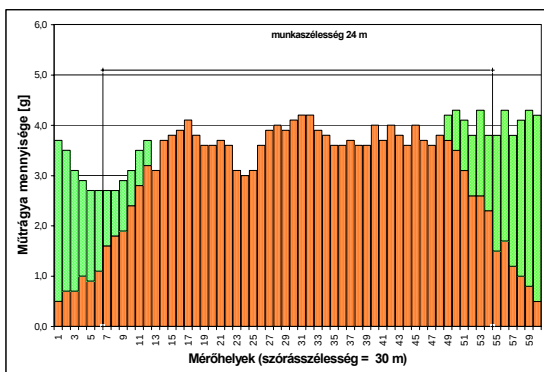


4. ábra. Ammóniumnitráttal végzett mérés 5. ábra. Kálisóval végzett mérés

A két műtrágyával végzett mérésnél 18 m munkaszélességhez kívántunk hasonló beállítást meghatározni (az alkalmazott műtrágya: ammóniumnitrát/kálisó, adagoló állás: 3, adagolási hely: B4/C7, lapátok száma: 3, lapátbeállítás: A90°). Ahhoz, hogy az eltérő fizikai jellemzőjű műtrágyákkal hasonló szórásképet, munkaszélességet érjünk el, az adagolási helyet jelentősen módosítani kellett. A két mérés eredménye más vonatkozásban is elemzést érdemel. A mérés célja az volt, hogy háromszög alakú szórásképet hozzunk létre, amelynél a CV érték egy bizonyos munkaszélesség alatt minden munkaszélességnél kielégíti a szórás egyenlőtlenséggel kapcsolatos követelményeket. Ammóniumnitrát műtrágya esetén 20 m munkaszélességnél érte el a CV érték a szabványban előírt 15 %-ot. 19 m-nél a CV érték 9,2 % volt és minden kisebb munkaszélességnél ez alatt maradt. Kálisó esetén 19 m munkaszélességnél érte el a CV érték a szabványban előírt 15 %-ot. 18 m-nél a CV érték 10,9 % volt és minden kisebb munkaszélességnél ez alatt maradt. A szórásképek ilyen jellege a gépek üzemeltetése szempontjából előnyös, mert pl. 18 m munkaszélesség mellett, a

munkaszélességtől ± 1 m-es eltérés esetén sem romlik a munkaminőség jelentősen. Ugyanakkor az üzemeltető bármilyen kisebb munkaszélesség mellett használhatja a gépet kiváló munkaminőség mellett.

Módosítani kell az adagolási helyet akkor is, ha változtatjuk a kijuttatott műtrágya mennyiségét (6. és 7. ábra). A két ábra azonos beállítás eredménye, csupán az adagmennyiség módosult (az alkalmazott műtrágya: NPK 15-15-15, adagoló állás: 6/16, adagolási hely: C4, lapátok száma: 2, lapátbeállítás: A90°). Az ábrák alapján megállapítható, hogy kis adag esetén (153 kg/ha), 24 m munkaszélességnél a CV érték 10,6 %. Nagy adag (517 kg/ha) esetén a szórásképp jellege teljesen megváltozott. A trapéz formájú szórásképp a háromszög alakú szórásképp irányába változott, és 24 m-es munkaszélességnél a CV érték 5,8 %-al nőtt és nem érte el az előírt 15 %-ot. Megfelelő CV érték csak 18 m munkaszélesség alatt volt és a CV optimum 15 m-re csökkent 6,1 % szórás egyenlőtlenség mellett. Megállapítható tehát, hogy a röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek érzékenyen reagálnak az adagmennyiség változtatására, és az adagmennyiség módosítása mindig adagolási hely állítást igényel.



6. ábra. Mérés 6-os adagoló állással

7. ábra. Mérés 16-os adagoló állással

A 7. ábra más tanulsággal is járt. A szórásképp közepének jelentős erősödését az is okozta, hogy a nagyobb mennyiségű műtrágya nem tudott egy rétegben elhelyezkedni a lapát felületén és a többretegű mozgás csökkentette a lapát menti sebességet és a hajítás

távolságot. Igazolható tehát az a hipotézis, hogy meghatározott adagmennyiség felett több lapát alkalmazása indokolt. Helyesen megválasztott adagolási hellyel a szórás kép természetesen módosítható. Jelentősebb munkaszélesség növekedést ilyen adagmennyiség esetén azonban csak több lapátos szóró szerkezettel lehet elérni.

3.6. A szóró szerkezet

A szóró szerkezet legfontosabb paramétereinek meghatározása a szórólapát felületén mozgó műtrágyaszemcse mozgásméleti kérdéseinek tanulmányozása, valamint gyakorlati gépvizsgálatok alapján történt. A tényezők meghatározásánál a munkaszélesség növelése volt a cél úgy, hogy a szórás egyenlőtlenség az agrotechnikai követelményekben meghatározott szinten belül maradjon. A munkaszélesség a műtrágyaszemcsék hajítási távolságának függvénye. A hajítási távolság vízszintes hajítás esetén – légüres térben – az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$x = v_o \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad [5]$$

ahol:

- x – a hajítási távolság [m]
- v_o – a műtrágyaszemcse leválási sebessége [m/s]
- h – a röpitőtárca talaj feletti magassága [m]
- g – a nehézségi gyorsulás [m/s^2]

A röpitőtárca forgása közben a leválási sebesség (v_o) iránya változik. A gép szórásszélessége szempontjából a legnagyobb hajítási távolság akkor mérhető, amikor a szemcsék leválási sebességének iránya merőleges a haladási irányra. Ebben az esetben a leválási pont a tárcsa széle közelében helyezkedik el. Ezt a gép szórásszélességének meghatározásánál figyelembe kell venni. A gép szórásszélessége (Sz) légüres térben:

$$Sz = 2x + a + 2R \quad [6]$$

ahol :

- a – a két röpitőtárca tengelytávolsága [m];
- R – a leválás pontja és a tárcsaközéppont közötti távolság haladási irányra merőleges vetülete [m].

Amennyiben a légellenállás hatása alatt vizsgáljuk a szemcsék hajítási távolságát, úgy figyelembe kell venni, hogy a szemcsékre hat a levegő ellenálló ereje (F):

$$F = \kappa A \frac{\rho_l}{2} v^2, \quad [7]$$

ahol:

- κ - a szemcse alaki tényezője;
- A - a szemcse áramlási irányra merőleges legnagyobb keresztmetszete [m^2];
- ρ_l - a levegő sűrűsége [kg/m^3];
- v - a szemcse pillanatnyi vízszintes irányú sebessége [m/s].

A szemcsékre ható erők egyensúlya alapján:

$$ma = -\kappa A \frac{\rho_l}{2} v^2 \quad \text{ebből} \quad a = -\frac{\kappa A \rho_l}{2m} v^2 = -k_v v^2 \quad [8]$$

ahol „ k_v ” a vitorlahatási tényező, amely az alábbi formában írható fel:

$$k_v = \frac{\kappa A \rho_l}{2m} = \frac{\kappa A \rho_l}{2V \rho_a} \quad [9]$$

ahol:

- V - a szemcse térfogata [m^3];
- ρ_a - a szemcse sűrűsége [kg/m^3].

A 9-es képlet tanulmányozása alapján megállapítható, hogy a vitorlahatási tényező az A/V nagyságától függ. Gömbszerű testek esetén:

$$\frac{A}{V} = \frac{3}{2d} \quad [10]$$

ahol: d - a szemcse átmérője [m].

A 10-es egyenlet alapján megállapítható, hogy a vitorlahatási tényező fordítottan arányos a szemcsék átmérőjével, tehát a nagyobb méretű szemcsék vitorlahatási tényezője kisebb, így távolabbra repíthetők. A légellenállás a szemcsékre méretüktől függően különböző mértékben hat. Irodalom alapján 50 m/s leválási sebesség mellett nagy szemcsék esetén a légüres térben számított hajítási távolság a légellenállás hatására mintegy 50%-ra csökken, apró szemcséknél pedig, a csökkenés mértéke 75% is lehet. Fontos tehát megvizsgálni a ható tényezőket:

Az 5-ös képletből a „ h ” értéke szerkezeti okok miatt csak korlátozott mértékben növelhető, hatása nem jelentős. A hajítási távolság és ezzel a szórásszélesség növelése szempontjából a legnagyobb hatást a leválási sebesség (v_0) növelésével lehet elérni.

A 6-os képletben az „ a ” érték szerkezeti okok miatt számottevően nem növelhető, bár a nagy munkaszélességű függesztett gépeknél több cég is élt ezzel a lehetőséggel, hatása nem jelentős. Az „ R ” értéke a szórásszélesség nagyságrendjét figyelembe véve elhanyagolható.

A 7-es képletből a szemcsék alakjára jellemzője „ κ ”, amennyiben feltételezzük, hogy a műtrágyaszemcsék alakja a göbformához hasonló, állandónak tekinthető. Természetes vannak ettől eltérő alakú műtrágyák is (pl. kristályos kálisó).

A 8-as és 9-es képlet alapján mondhatjuk, hogy a nagyobb méretű (d) és sűrűségű (ρ_a) szemcsékkel érhető el nagyobb szórásszélesség.

Összességében megállapítható tehát, hogy a szórásszélességet a leválási sebesség (v_0), a szemcsék mérete (d) és sűrűsége (ρ_a) befolyásolja döntően. A műtrágyaszemcsék jellemzői gyártástechnológiai kérdés, bár az üzemeltető is hatással lehet rá az adott műtrágyák közül a megfelelő kiválasztásával. A gép konstrukciós kérdési közül a leválási sebesség további vizsgálata fontos. A leválási sebesség a szórólapát végén mérhető kerületi sebességtől, valamint a műtrágyaszemcse lapát menti sebességétől függ. A kerületi sebességet a lapát hosszával és a röpitőtárcsa fordulatszámával szabályozzuk. A lapát menti sebesség a szemcsére ható gyorsító erők függvénye:

$$F = F_c - F_{cor}\mu_1 - G\mu_2 \quad [11]$$

ahol:

- F – a műtrágyaszemcsére ható eredő gyorsító erő [N]
- F_c – a műtrágyaszemcsére ható centrifugális erő [N]

$$F_c = mr\omega^2 \quad [12]$$

ahol:

- m – a műtrágyaszemcse tömege [kg]
- r – a műtrágyaszemcse tárcsaközépponttól mért távolsága [m]
- ω – a röpitőtárcsa szögsebessége [1/s]

F_{cor} – a műtrágyaszemcsét a lapát felületéhez szorító coriolis erő [N]

$$F_{cor} = 2mv_1\omega \quad [13]$$

ahol: v_1 – a műtrágyaszemcse lapát menti sebessége [m/s]

μ_1 – a műtrágyaszemcse és a lapát közötti súrlódási tényező

G – a műtrágyaszemcse súlya [N]

μ_2 – a műtrágyaszemcse és a röpitőtárcsa/szórólapát közötti súrlódási tényező

A lapát mentén mozgó műtrágyaszemcsére ható gyorsító erők:

$$mr'' = mr\omega^2 - 2mr'\omega\mu_1 - G\mu_2 \quad [14]$$

A differenciálegyenlet megoldása támpontot nyújt az egyes műtrágyaszemcsék leválási sebességének meghatározásához.

A műtrágyaszemcsékre ható eredő gyorsító erő a fentiek alapján az alábbiak szerint növelhető:

1. A centrifugális erő növelésével

Ez elsősorban a röpitőtárcsa szögsebességének és a lapátok hosszának növelésével lehetséges.

2. A coriolis erő okozta súrlódási erő csökkentésével

A lapátmenti sebesség (r') és ω csökkentése, a centrifugális erők csökkentését vonja maga után, így a súrlódási viszonyok megváltoztatása az egyedüli lehetőség. Célszerű olyan lapát alak alkalmazása, amelynél a coriolis erő nem tudja merőleges felületnek szorítani a szemcséket. Ez részben a röpitőtárcsa felületével tompa szöget bezáró lapát felülettel, részben a lapátok forgásirányban hátra történő állításával biztosítható. Mindkét eset elősegíti a gördülésszerű mozgás kialakulását a lapát felületén.

3. A műtrágyaszemcse súlya következtében a tárcsa/lapát felületén keletkező súrlódó erő csökkentésével.

Csökkentése a röpitőtárcsa/lapát és a műtrágyaszemcse közötti súrlódási viszonyok javításával lehet. Hatása nem jelentős, mert a műtrágyaszemcse döntően a lapát hátfalán mozog.

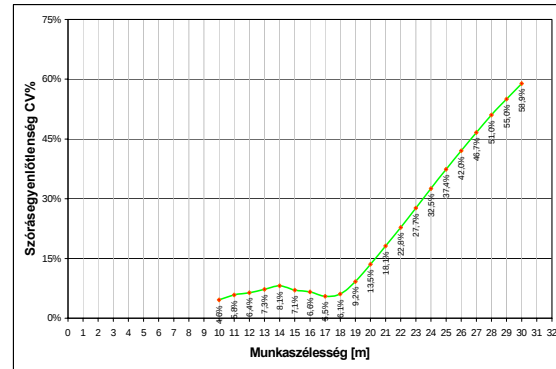
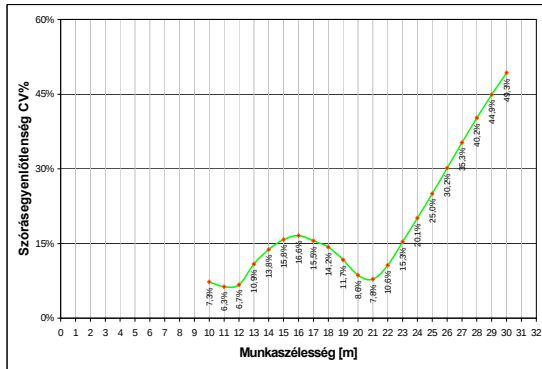
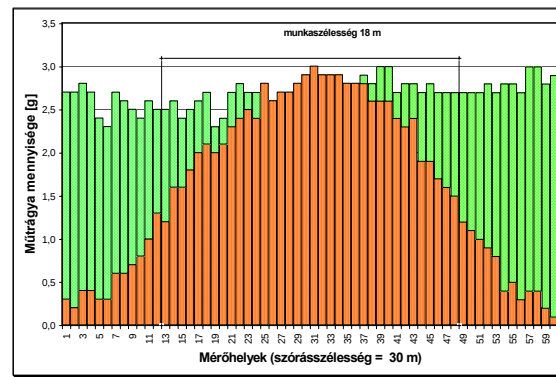
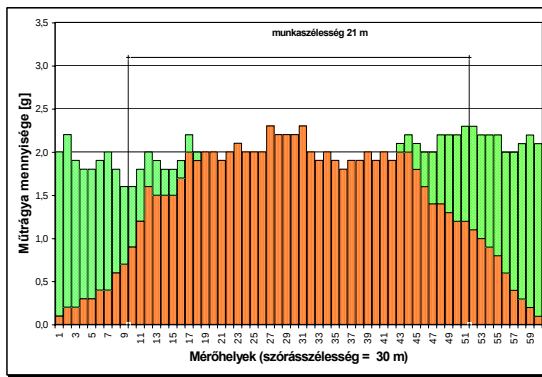
A fentiek figyelembe vételével a műtrágyaszemcse lapát menti sebességének növelésére az alábbi lehetőségek vehetők figyelembe:

- a röpítőtárcsa fordulatszámának növelése;
- kedvező lapátalak alkalmazása;
- megfelelő lapáthossz választása;
- a lapátok sugáriránnyal bezárt szögének helyes megválasztása;
- kedvező adagolási hely alkalmazása.

A vízszintes hajításhoz képest a szemcsék repülési távolsága növelhető a ferdehajítással. Célszerű ezért a ferdehajítás feltételeit megvizsgálni részben a röpítőtárcsa síkjának, részben a lapát alakjának megfelelő kialakításával. Ezért a röpítőtárcsa kúpos, a tervezett kúposág 172° . A kúpos kiképzés a tárcsa merevségét növeli. Ezt a célt szolgálja a tárcsák peremezése is.

A röpítőtárcsa fordulatszáma 840 1/min, beépítése vízszintes. A röpítőtárcsákra 2/3 db szórólapát szerelhető. Azonos beállítás mellett a lapátok száma befolyásolja a gép szórásképének jellegét. A szórólapátok számának csökkentésével csökken a szórás egyenlőtlenség (CV), tehát javul a munkaminőség, ezzel az azonos CV értékre vonatkoztatott szórás szélesség, illetve a munkaszélesség növekszik (8. és 9. ábra). A két ábra azonos beállítás eredménye, csupán a lapátok száma módosult (az alkalmazott műtrágya: ammóniumnitrát, adagoló állás: 3, adagolási hely: B4, lapátok száma: 2/3, lapátbeállítás: $A90^\circ$).

Kétlapátos szórószerkezettel (8. ábra) a szórás kép jellege trapéz formájú, a CV optimum a vizsgált tartományban 7,8 %. Azonos beállítás mellett a háromlapátos szórószerkezetenél – a harmadik (közepes hosszúságú) lapát a szórás kép közepét erősíti (9. ábra), így a szórás kép háromszög jellegű lesz. A CV érték 21 m-nél 18,1 %, tehát 10,3 %-al magasabb, mint két lapátnál. Az átfedés mértékével természetesen itt is csökken a CV értéke, de csak 17 m-nél éri el az optimumot, ennél kisebb munkaszélességnél azonban, mint a háromszög alakú szórás képeknél a megkívánt érték alatt marad. Következtetésként levonható tehát, hogy a kétlapátos és a háromlapátos szórószerkezet eltérő adagolási helyet igényel.



8. ábra. Szórásképek két lapáttal

9. ábra. Szórásképek három lapáttal

Kettőnél több lapát alkalmazásának oka elméleti alapokon nyugszik, és a kijuttatott műtrágya mennyiséggel van összefüggésben. Az elérhető munkaszélesség ugyanis a műtrágyák fizikai jellemzői mellett a lapátvégek kerületi sebességének és a műtrágya lapát menti sebességnek a függvénye. A lapát menti sebesség növelhető, ha a lapátok felületén a műtrágya egy rétegben mozog, hiszen a lapát felületén a súrlódási tényező mindig kisebb, mint a műtrágya belső súrlódása. A szóró szerkezeten időegység alatt átáramló műtrágya mennyiség, valamint a lapátok érintett felületének figyelembe vételével meghatározható az adott műtrágya mennyiséghez szükséges lapátfelület illetve lapátszám. A *lapátok számának* közelítő számításához figyelembe vett adatok:

1. B a gép munkaszélessége [m]
2. v_h a gépcsoport haladási sebessége [km/h]
3. Q_n az egy hektárra kiszórandó műtrágya mennyisége [kg/ha]
4. γ az alkalmazott műtrágya térfogattömege [kg/m³]
5. z a röpitőtárcsák száma [db]
6. c az egy tárcsán lévő lapátok száma [db]
7. e a lapát aktív magassága [mm]
8. l a lapát aktív hossza (szétterületi hossz) [mm]
9. d az átlagos szemcseátmérő [mm]

10. m az átlagos szemcsetömege [g]

A fenti adatok alapján egy fordulat alatt egy lapátra jutó műtrágya mennyisége Q_1 [g]:

$$Q_1 = \frac{60BvQ_n}{36zcn} \text{ [g]} \quad [15]$$

Konkrét adatokkal meghatározott Q_1 értéke 95,24 g, ahol:

- A gép munkaszélessége: $B=24$ m
- A műtrágyaszóró gép sebessége: $v=8$ km/h
- Műtrágya mennyiség: $Q=1000$ kg/ha
- A röpitőtárcsák száma: $z=2$ db
- A lapátok száma egy röpitőtárcsán: $c=2$ db

Az átlagos szemcseátmérővel és tömeggel kiszámolható a lapát felületén elhelyezhető szemcsék száma illetve tömege Q_2 [g]:

$$Q_2 = \frac{elm}{d^2} \text{ [g]} \quad [16]$$

A Q_2 értéke konkrét adatokkal:

- e a lapát aktív magassága 50 mm
- l a lapát aktív hossza (szétterületi hossz) 250 mm

d az átlagos szemcseátmérő [mm] és m az átlagos szemcsetömege [g] műtrágyánként változó. Az egyes műtrágyák adataival meghatározható az egyrétegű mozgás határértéke (**1. táblázat**). Miután egy lapátra 95,3 g műtrágya jut, az egy rétegű mozgás -az 1. táblázat utolsó sorának figyelembe vételével- csak az NPK 0-10-14,5 hidegen granulált műtrágya és Pétisó esetén biztosított. Minden más esetben többrétegű mozgás következne be.

A lapátok számának közelítő számítása

1. táblázat

Az alkalmazott műtrágyák	Kemira	NPK-15-15-15	NPK-0-10-14,5	Káli-só	Péti-só	Ammo-nium-nitrát	Karba-mid
Átlagos szemcseátmérő [mm]	3,25	3,25	3,0	3,0	2,5	2,0	1,75
A szemcsék átlagos tömege [g]	0,067	0,069	0,205	0,057	0,068	0,026	0,01
Az összes szemcsetömeg a lapát aktív felületén [g]	62,31	64,17	219,8	61,10	108,8	65,0	31,92

A gyakorlatban alkalmazott üzemi sebességnél (8 km/h) valamint 1000 kg/ha esetén az egy lapátra jutó műtrágya, és az 1. táblázatban szereplő mennyiségek arányosítása során megállapítható, hogy két műtrágya kivételével -kétlapátos szóró szerkezettel- ideális szórás csak 650 kg/ha-nál kisebb műtrágya mennyiségnél lehetséges, sőt karbamidból ez a határ 330 kg/ha. A fenti értékek felett háromlapátos szóró szerkezet alkalmazása indokolt. Ezt a hipotézist támasztja alá a 8. és 9. ábra.

A lapátok hosszának változtatása a munkaszélesség növelés legfontosabb lehetősége. A kerületi sebesség növelését a lapát hossz növelésével célszerű elérni. A 24 m munkaszélesség 25-30 m/s kerületi sebességgel érhető el. Ehhez a fenti fordulatszám mellett 300-350 mm lapáthossz szükséges. A vizsgálatok tanulsága alapján, az alkalmazott 400 mm lapáthossz kedvező esetben 28-30 m munkaszélesség elérését is lehetővé teszi. Mind a kereszt-, mind a hosszirányú szórás egyenlőtlenség csökkentése érdekében előnyös, ha az egy tárcsán alkalmazott lapátok hossza eltérő. A különböző hosszúságú lapátok eltérő szórási szélességgel dolgoznak, ami növeli a kedvező háromszög alakú szóráskép kialakításának lehetőségét, és a keresztirányú szórás egyenlőtlenség csökkentése szempontjából előnyös. Az eltérő hosszúságú lapátok által egy-egy fordulat során kiszórt műtrágya pászták nagyobb területet fednek, ami csökkenti a hosszirányú szórás egyenlőtlenséget.

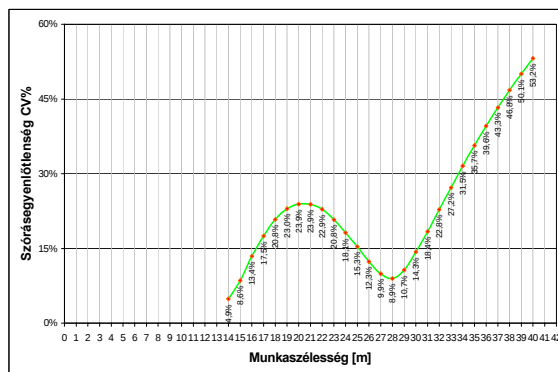
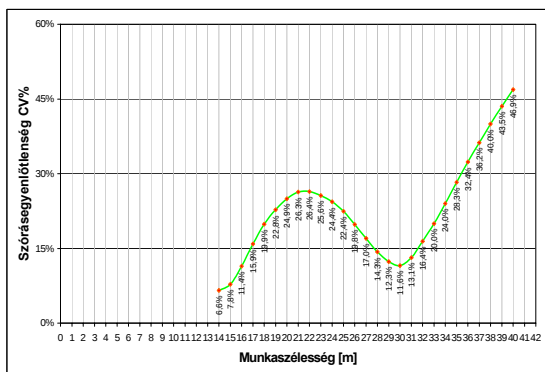
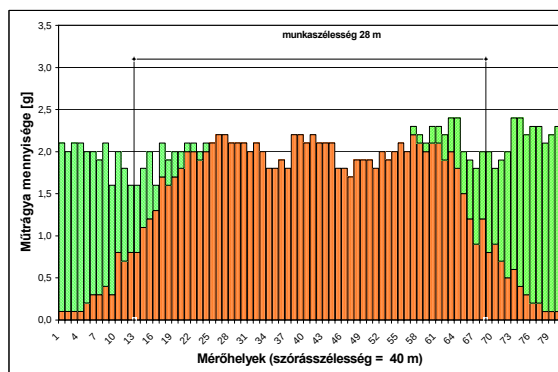
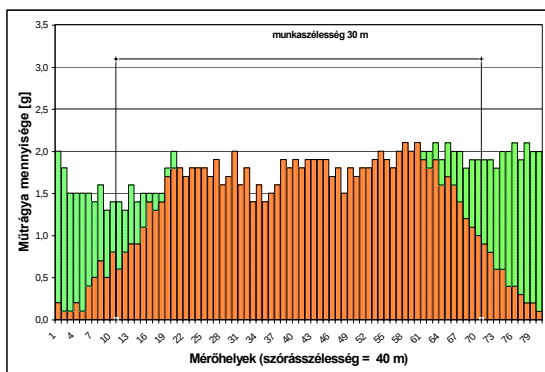
A lapátok alakja fektetett u alak ($\supset$). Kedvező, ha a sarkoknál ívelt a lapát, ami csökkenti a műtrágyaszemcsék feltapadását. Fontos, hogy a lapát belső felületén a műtrágya mozgását semmi ne zavarja. Ezt a lapátok rögzítésénél figyelembe kell venni.

A lapátok magassága 50 mm. Az alacsonyabb lapát azért előnyös, mert a tömör sugárban kiszórt műtrágya csökkenti a gép szórás egyenlőtlenségét. A magasabb lapáton viszont nagyobb műtrágyaáram esetén is biztosítható az egyrétegű mozgás. A lapát magassága kompromisszum eredménye. Fejtrágyázó gépeknél, ahol a kijuttatott műtrágya mennyiség kicsi, előnyösebb az alacsony lapát. Nagyobb műtrágyamennyiség kijuttatásánál ugyanakkor a magasabb lapátnak van előnye.

A lapátok végének kiképzése lehet lépcsőzetes, így megsokszorozható a különböző hosszúságú lapátok hatása. Két szórólapát esetén, helyesen megválasztott lapáthossz és lépcsőzetesség kialakítása négy különböző hosszúságú lapát előnyét hordozza. A lépcsők méretének optimális értéke csak kísérleti úton határozható meg.

A lapátok anyaga -a korróziós hatás elkerülése érdekében- rozsdamentes acél.

A lapátok sugáriránnyal bezárt szögének módosítása két fontos paramétert változtat meg. Forgásirányban előre állítás növeli a szórás szélességet és a szórásegyenlőtlenséget egyaránt. Forgásirányban hátra állított lapátok esetén csökken a szórás szélesség és a szórásegyenlőtlenség (10. és 11. ábra). A fenti jelenség oka a kerületi sebesség kis mértékű csökkenése, továbbá a lapát menti sebesség irányának jelentős módosulása. A kettő eredményeként a hátra állított lapátoknál a leválási sebesség nagysága számottevően csökken.



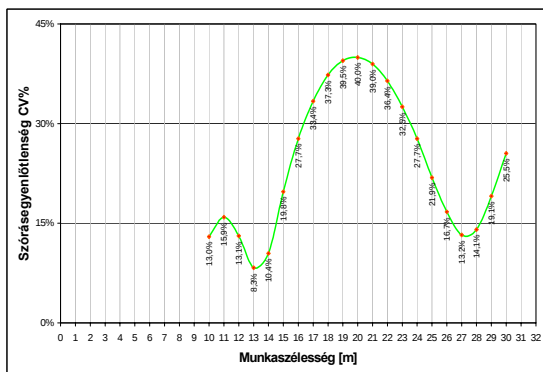
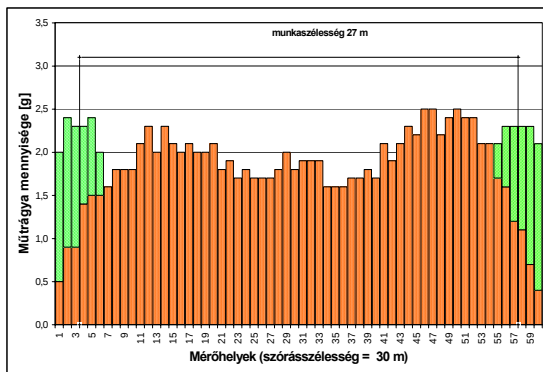
10. ábra. Szóráskép előre állított lapátokkal

11. ábra. Szóráskép hátra állított lapátokkal

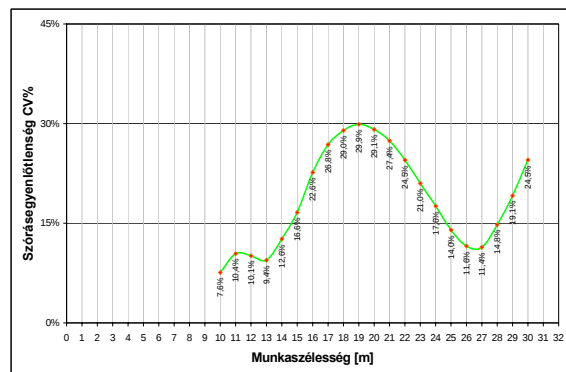
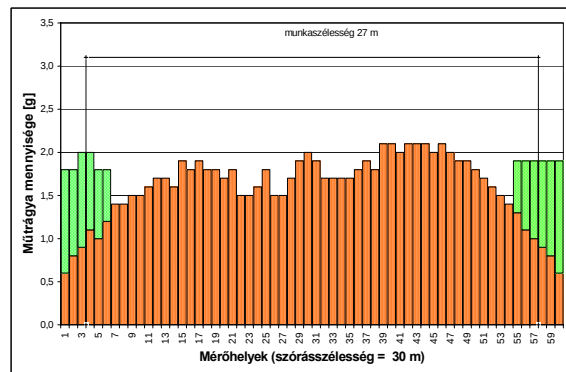
A két ábra azonos beállítás eredménye, csupán a lapátok sugáriránnyal bezárt szöge módosult (az alkalmazott műtrágya: ammóniumnitrát, adagoló állás: 3, adagolási hely: C2, lapátok száma: 2, lapátbeállítás: A/C98°). Forgásirányban előre állított lapátokkal 30 m volt a munkaszélesség, 11,6 % CV értékkel. A lapátok hátra állításával a munkaszélesség 2 m-el, 28 m-re csökkent, a CV érték 2,7 %-al, 8,9 %-ra javult. A munkaszélesség és a szórásegyenlőtlenség módosításához tehát jó eszköz a lapátok szögállítása. A nagyobb munkaszélesség lépcsőket a lapátok hosszával, a kisebbeket a lapátok szögállítással célszerű megvalósítani.

A lapát menti sebesség növelésének több lehetősége van. A Coriolis erő okozta súrlódási ellenállás csökkentésének hatásos módszere a lapátok szögállítása. A lapátok

forgásirányba hátra állításával –bár csökken a lapátvégen mért kerületi sebesség és változik a lapát menti sebesség és a kerületi sebesség viszonya- a súrlódási ellenállás csökken, ezzel nő a lapát menti sebesség, ami ellensúlyozza a fenti két tényező hatását. A Coriolis erő okozta súrlódási ellenállás csökkentésének másik lehetősége a lapátok hátlapja szögének módosítása a röpitőtárcsa síkjához képest. A gépek zöménél a röpitőtárcsa síkjára merőleges lapát felületet alkalmaznak. Vizsgálataim során választ kerestem arra, vajon a lapát hátszöge bír-e számottevő hatással (12. és 13. ábra).



12. ábra. Mérés 90°-os lapáttal



13. ábra. Mérés 98°-os lapáttal

A két ábra azonos beállítás eredménye, csupán a lapátok hát szöge módosult (az alkalmazott műtrágya: ammóniumnitrát, adagoló állás: 3, adagolási hely: C2, lapátok száma: 2, lapátbeállítás: A/C, 90/98°). 90°-os lapátokkal 27 m munkaszélesség mellett a CV érték 13,2 % volt (12. ábra). A lapátok hátra döntésével (98°-os lapát) változatlan munkaszélesség mellett a CV érték 1,8 % -al csökkent (13. ábra). Az ábrák alaposabb tanulmányozása alapján látható, hogy a vizsgált tartományban, a CV érték optimum - 90°-os lapátoknál- 27-28 m között, 98°-os lapátoknál pedig 26-27 m között volt, tehát a munkaszélesség a lapátok hátszögének növelésével kissé csökkent, bár ezt kompenzálta a CV érték csökkenése. A lapátok hátszögének további növelésénél a fenti kedvező tendencia nem folytatódott. A lapátok hátdőlésének növelése tehát csak egy bizonyos mértékig (méréseim alapján 98°-ig) célszerű. Megállapítható, hogy a lapátok hátra

döntése meghatározott mértékig hasonló hatást eredményez, mint a forgásirányba hátra állított lapát, a hatás azonban mérsékeltebb.

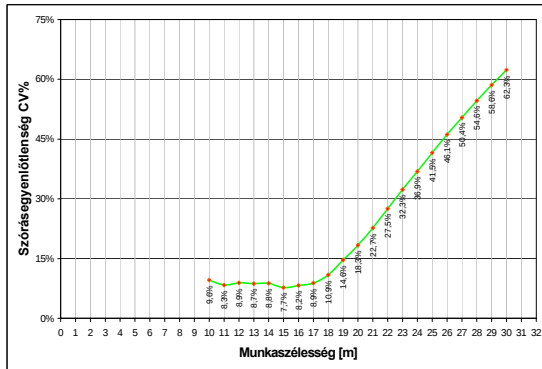
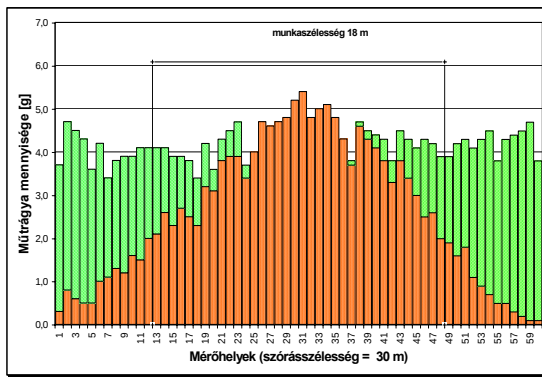
3.7. Üzemeltetési jellemzők

A műtrágyaszóró gépek munkaminőségét az alkalmazott műtrágya jellemzői és a gép konstrukciós adottságai mellett az üzemeltetés szakszerűsége határozza meg. Ezek közül a legfontosabbak:

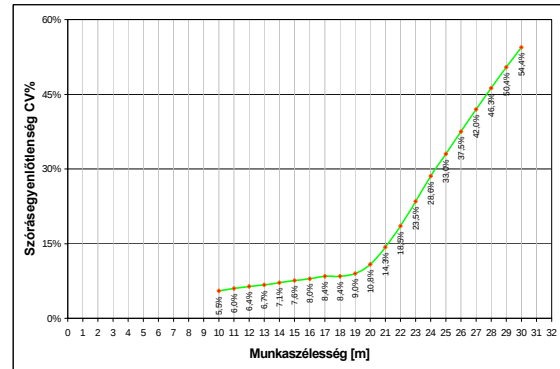
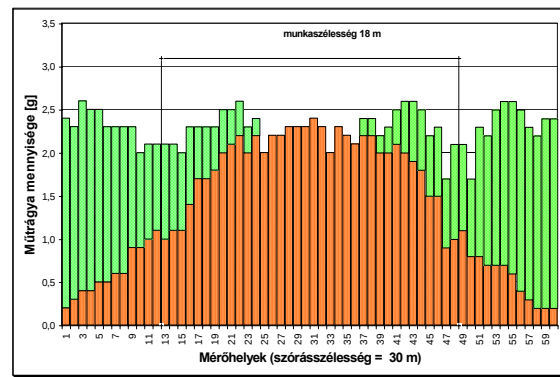
- A gép műtrágya specifikus beállítása (akkreditált laboratóriumi mérések alapján);
- Az erőgép ellenőrzése (TLT fordulatszám, járószerkezet paraméterek, stabilitás);
- A szórógép ellenőrzése (leforgatási próba);
- A keresztirányú szórásképp ellenőrzése (táblán történő ellenőrzés megfelelő eszközökkel);
- A korrekt fogáscsatlakoztatás biztosítása.

A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek keresztirányú szórásképeinek jellege miatt egyenletes műtrágya eloszlás csak akkor érhető el, ha a szórásképeket -az egymást követő meneteket során- átfedik. A gépek munkaminőségi vizsgálataiban meghatározzák a különböző munkaszélesség beállításához szükséges adatokat. A nagy munkaszélességek miatt a pontos fogáscsatlakoztatáshoz segédeszköz szükséges (művelő út, párhuzamosan vezető rendszer, automatikus kormányzás). A munkaszélesség tartásánál megengedhető eltérés a keresztirányú szórásképp jellegétől függ. A keresztirányú szórás egyenlőtlenség (CV) az eltérés során nem növekedhet a megengedett érték (15 %) fölé, mert ennek termés-csökkenő és a termény minőségét rontó hatása van. Ezért a munkaszélességtől megengedett eltérés elemzésénél mindig a CV érték megfelelő szinten tartása a cél (**14. és 15. ábra**).

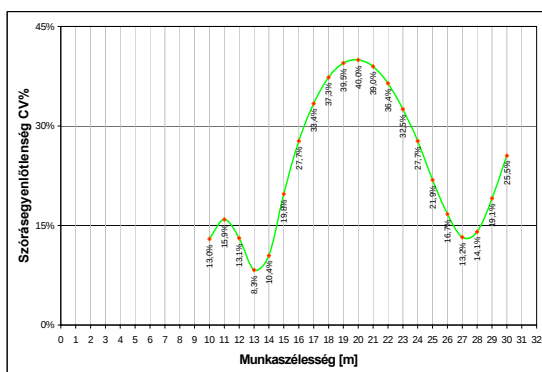
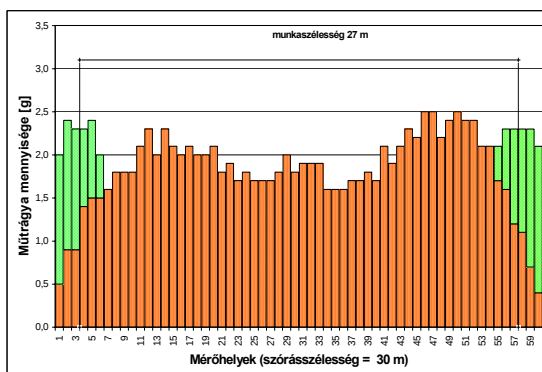
A 14. ábra esetén 18 m-es munkaszélességnél, + 1 m-es fogáscsatlakoztatási hibánál a CV értéke a határon van, tehát pontos fogáscsatlakoztatás szükséges az elvárt munkaminőség eléréséhez. Negatív irányú eltérés nem okoz hibát. A 15. ábrán látható



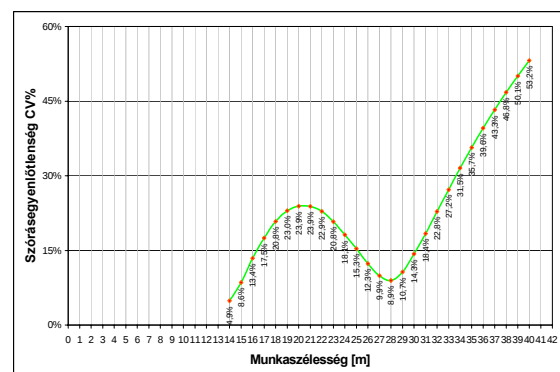
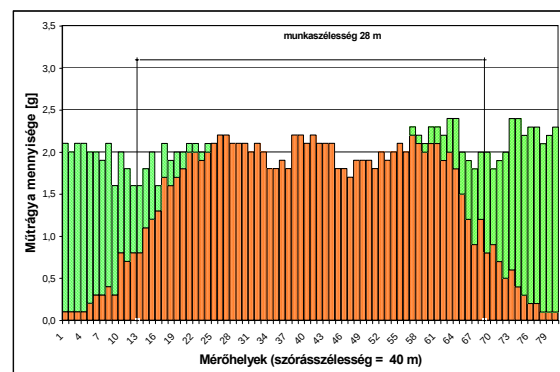
14. ábra. *Pontos fogáscsatlakoztatási igény*



15. ábra. *Kevéssé pontos fogáscsatlakoztatás igénye*



16. ábra. *Pontos fogáscsatlakoztatási igény*



17. ábra. *Kevéssé pontos fogáscsatlakoztatás igénye*

esetben 18 m-es munkaszélesség esetén a csatlakoztatási hiba + 3 m is lehet, negatív irányban az eltérés nem okoz hibát. Ez a háromszög formájú szórásképekre jellemző. Nem véletlen, hogy a mai gépfejlesztés ezt a szórásképfomat célozta meg. A trapéz formájú szórásképek fogáscsatlakoztatás szempontjából kritikusabbak **(16. és 17. ábra)**.

A 16. ábra esetén 28 m-es munkaszélességnél, pozitív irányban nincs eltérési lehetőség, negatív irányban 1 m-es eltérés lehetséges, az elvárt munkaminőség eléréséhez tehát pontos fogáscsatlakoztatás szükséges.

A 17. ábrán látható esetben 28 m-es munkaszélességnél a csatlakoztatási hiba ± 2 m is lehet. Itt a munkaszélesség megválasztásnál az a törekvés, hogy az eltérési lehetőség $\pm$ irányban azonos legyen. Ez a trapéz formájú szórásképekre jellemző. A nagyobb munkaszélességre törekvés gyakran eredményez trapéz formájú szórásképet, jóllehet a fejlesztők tudják, hogy a háromszög formájú szórásképek számos előnnyel jár.

A bemutatott példák bizonyítják, hogy esetenként nagyon pontos fogáscsatlakoztatással érhető csak el az elvárt munkaminőség. Ennek mai korszerű megoldása a művelő utas termesztési mód, vagy a GPS-re alapozott párhuzamosan vezető rendszer, illetve automatikus kormányzás alkalmazása.

A környezet megóvása, a költségek csökkentése érdekében a tábla szélén, utak, csatornák mentén a szórásképet a kívánt mértékben le kell határolni. Ennek jó megoldása a szórótárcsa mellé befordítható terelő szerkezet alkalmazása, amely a műtrágyaszemcsék repülési irányát és ezzel repülési távolságát a kívánt oldalon módosítja.

A fejlesztett gép -megfelelő átalakítással- alkalmassá tehető a hely-specifikus tápanyag kijuttatásra.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Bizonyítottam az eltérő műtrágyamennyiségek eltérő adagolási hely igényét.
2. Összefüggést határoztam meg a lapát felületén egy rétegben mozgó műtrágyamennyiség és a lapátszám összefüggésére. Az összefüggés helyességét kísérleti eredményekkel támasztottam alá.
3. Meghatároztam a sugáriránnyal szögben állított lapátok hatását a munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre.
4. Meghatároztam a röpitőtárcsa síkjával tompaszöget bezáró lapátfelület szögének hatását a munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre.
5. Meghatároztam a keresztirányú szórásképek jellege és a csatlakoztatási pontosság összefüggését.

5. A GYAKORLATBAN FELHASZNÁLHATÓ EREDMÉNYEK

1. A vontatott műtrágyaszóró gépek kihordó szerkezete sebességének meghatározására létrehozott összefüggést a gépek tervezésénél javasolom felhasználni.
2. A gépek beállításánál, üzemeltetésénél javasolom figyelembe venni a vizsgálataim során megállapított, a műtrágya adagolásában előforduló aszimmetria és a keresztirányú szórás egyenlőtlenség közötti kapcsolatot.
3. Vizsgálati eredményeim alapján javasolom a gépek tervezésénél és beállításánál figyelembe venni, hogy a különböző fizikai jellemzőkkel rendelkező műtrágyák eltérő adagolási helyet igényelnek.
4. Vizsgálati eredményeim alapján javasolom a gépek tervezésénél és beállításánál figyelembe venni, hogy az adagolási hely megválasztása jelentős hatással van a keresztirányú szórás egyenlőtlenségre.
5. A tervezett műtrágyaszóró gép változatok gyártásának elindítása előtt alapos piackutatást célszerű végezni a várható vásárlói szándék és igény tekintetében. A különböző cégek által gyártott gépek munkaminőségi vizsgálatai szakirodalomban nyomon követhetők, azonban az ár-minőség-termelékenység viszonyok részletes elemzését a fejlesztést, illetve értékesítést végző cégeknek kell elvégezni, tekintettel arra, hogy ez irányú adatok publikálását a gyártók nem támogatják.
6. A tervezett műtrágyaszóró gépeket el kell látni az adagmennyiség kalibrálásához és a táblán történő keresztirányú szórás kép ellenőrzéséhez szükséges kiegészítő berendezésekkel.
7. A járókerékarányos lehordószerkezet hajtással ellátott vontatott műtrágyaszóró gép adagolási helyeit befolyásolja az aktuális üzemi sebesség is.
8. A tervezett műtrágyaszóró gépeket alkalmassá kell tenni a hely-specifikus tápanyag kijuttatására
9. A tervezett műtrágyaszóró gépeket el kell látni a határszórásra alkalmas berendezéssel.

10. Gyártás és forgalmazás esetén a tervezett műtrágyaszóró gépeket olyan kezelési utasítással kell ellátni, amely tartalmazza műtrágyánként, műtrágya mennyiségként, üzemi sebességként és munkaszélességként a szükséges beállítási adatokat.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

1. **Kőkuti A.** (1984). Ütvefűró gépek zajcsökkentési lehetőségei (diploma dolgozat, Budapest Műszaki Egyetem)
2. **Kőkuti A.** (1990). Hegesztett kötés feszültségvizsgálata a fotoelasztikus rétegbevonattal (szakmérnöki diploma dolgozat Budapesti Műszaki Egyetem)
3. Csizmazia Z.-**Kőkuti A.** (1991). Műtrágyaszóró gép fejlesztése kisgazdaságok részére. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő.
4. Csizmazia Z.-**Kőkuti A.** (1991). Műtrágyaszóró kisgazdaságok részére. Mezőgazdasági Technika, Budapest, 32.évf. 4.sz. 18-19.p.
5. **Kőkuti A.** (1993). Vékonyfalú zártvégű idomacélból készült hegesztett csomópont vizsgálata fotoelasztikus optikai rétegbevonatos eljárással ,Anyagvizsgálók lapja 3. szám)
6. **Kőkuti A.** (1993). Zártszelvényű hegesztett csomópont fotoelasztikus méréséből nyerhető információk egyik lehetséges alkalmazása a mérnöki gyakorlatban (Budapesti Műszaki Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar, Gépelemek Tanszék, Tanszéki Közlemények 71. szám,)
7. **Kőkuti A.** (1993). Könnyűszerkezetes gépjármű felépítmény váz csomópont feszültség vizsgálata fotoelasztikus rétegbevonattal (doktori értekezés, Budapesti Műszaki Egyetem)
8. Csizmazia Z.-**Kőkuti A.** (2001). KUHN-RAUCH MDS 921 műtrágyaszóró. Gyakorlati Agrofórum, 12. évf. 8. sz. 70-73. p.
9. **Kőkuti A.**-Pelyva J.(2003) Nyilvános repülőterek védelme. Konferencia. Budapest.
10. **Kőkuti A.**-Pelyva J.(2003) Biztonságos szállítás feltételeinek kialakítása. Az uniós csatlakozás börtönügyi kérdései Magyarországon és a többi EU-tagjelölt országban. Nemzetközi konferencia. Budapest.
11. Csizmazia Z.-**Kőkuti A.**-Ancza E.(2004). Nagyteljesítményű, vontatott műtrágyaszóró gép fejlesztése. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő.
12. **Kőkuti A.** (2004). Technological and Technical Issues of Efficient Nutrient Supply. Journal of Agricultural Sciences, Debrecen, 15. 43-46.p.
13. **Kőkuti A.**-Ancza E.-Csizmazia Z. (2005). Nagyteljesítményű, vontatott műtrágyaszóró gép fejlesztése. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő.
14. Z. Csizmazia, N. I. Polyák, **A. Kőkuti** (2005). Basic Research for Development of Fertiliser Spreaders. Journal of Agricultural Sciences, (megjelenés alatt)
15. E. Ancza, **A. Kőkuti** (2005) Technical Conditions of Environment Protecting Fertiliser Application. Sustainable Agriculture Across Borders in Europa, University of Debrecen-University of Oradea.