

**Debreceni Egyetem**  
Agrártudományi Centrum  
**Mezőgazdaságtudományi Kar**  
**Földműveléstan Tanszék**

**MULTIDISZCIPLINÁRIS AGRÁRTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

**Doktori Iskola vezető:**

Prof. dr. Nagy János  
**MTA doktora**

**Témavezető:**

Prof. dr. Csizmazia Zoltán  
egyetemi tanár

**RÖPÍTŐTÁRCSÁS MŰTRÁGYASZÓRÓGÉPEK  
FEJLESZTÉSI ALAPÖSSZEFÜGGÉSEI**

**Készítette:**

Kókuti Attila  
**doktorjelölt**

Debrecen  
**2005**

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>TARTALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>1</b>
<b>1. BEVEZETÉS .....</b>	<b>4</b>
1.1. A kutatómunka célja .....	4
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....</b>	<b>7</b>
2.1. A szórás egyenlőtlenség hatása a terméshozamra .....	7
2.2. A szórás egyenlőtlenséget meghatározó előírások .....	13
2.3. A műtrágyák jellemzői .....	15
2.3.1. Méret, alak, szemcseösszetétel .....	16
2.3.2. A műtrágya szemcsék egyedi tömege, térfogattömeg, sűrűség. ....	19
2.3.3. A műtrágyák nedvességtartalma .....	19
2.3.4. A műtrágyák szemcseszilárdsága .....	19
2.3.5. A műtrágyák aerodinamikai jellemzői .....	22
2.3.6. A műtrágyák súrlódási jellemzői .....	24
2.4. A műtrágyák jellemzőinek megőrzése anyagmozgatás és tárolás közben .....	26
2.5. A műtrágyák keverése .....	28
2.6. A gépek szerkezeti egységeinek hatása a műtrágya egyenletes kijuttatására .....	30
2.6.1. A tartály .....	30
2.6.2. A boltozódás gátló szerkezet .....	31
2.6.3. Az adagoló szerkezet .....	31
2.6.4. Az elosztó és adagolási hely állító szerkezetek .....	33
2.6.5. A röpitőtárcsa .....	33
2.6.5.1. A röpitőtárcsa mérete, alakja és elhelyezkedése .....	39
2.6.5.2. A röpitőtárcsa fordulatszám, kerületi sebessége .....	40
2.6.5.3. A röpitőtárcsán alkalmazott szórólapátok .....	41
2.6.6. A műtrágya mozgása a röpitőtárcsán .....	44
2.6.7. A műtrágyaszemcsék mozgása a levegőben .....	47
2.7. Az üzemeltetési jellemzőinek hatása a szórás egyenlőtlenségre .....	48
2.7.1. A fogáscsatlakoztatási hiba hatása a szórás egyenlőtlenségre .....	49
2.8. Termőhely-specifikus tápanyag kijuttatás .....	52
<b>3. ANYAG ÉS MÓDSZER .....</b>	<b>55</b>
3.1. A kísérleti gép (4. ábra) leírása .....	55
3.1.1. A kísérleti gép műszaki és üzemeltetési adatai .....	60
3.2. A keresztirányú szórás egyenlőtlenség vizsgálatok .....	61
3.3. A hosszirányú szórás egyenlőtlenség vizsgálatok .....	64
3.4. A vizsgálatok során változó jellemzők .....	65
3.5. A vizsgálatok során változatlan jellemzők: .....	65
3.6. A beállítható adagolási helyek .....	65
<b>4. EREDMÉNYEK.....</b>	<b>67</b>
4.1. A tartály fontosabb paramétereinek meghatározása .....	67
4.2. Boltozódás gátló szerkezet .....	68
4.3. Kihordó szerkezet .....	68
4.4. Résállító szerkezet .....	70
4.5. Elosztó és adagolási hely állító szerkezet .....	70
4.6. A szórószerkezet .....	75
4.7. Üzemeltetési jellemzők .....	86
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK, ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, JAVASLATOK 91</b>	
5.1. Következtetések .....	91
5.2. Új tudományos eredmények .....	93

5.3. Javaslatok.....	94
<b>6. ÖSSZEFOGLALÁS.....</b>	<b>96</b>
<b>7. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS .....</b>	<b>96</b>
<b>8. IRODALOM.....</b>	<b>99</b>
<b>9. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK .....</b>	<b>106</b>
<b>ÁBRAJEGYZÉK.....</b>	<b>108</b>
<b>TÁBLÁZATOK.....</b>	<b>109</b>
<b>MELLÉKLETEK.....</b>	<b>110</b>
- Melléklet 1. Magyar Szabvány	
- Melléklet 2. Összehasonlító vizsgálatok	
- Melléklet 3. Értekezésben használt jelölések	

# 1. BEVEZETÉS

## 1.1. A kutatómunka célja

A mezőgazdasági termelés, mint minden gazdasági tevékenység jövedelemorientált. A jövedelmezőséget a ráfordított költségek, és az előállított termelési érték aránya határozza meg. A jövedelmezőség fokozása a termelési költségek csökkentése, illetve a termelési érték növelése útján érhető el. Ma világviszonylatban inkább a termelési költségek csökkentésére helyezik a hangsúlyt. A terméshozamok fokozása iránti igény csak részben és az is térben differenciáltan jelentkezik. Az európai térségben -a termőterület korlátozott volta miatt- ma még az intenzív termesztéstechnológiára helyezik a hangsúlyt, szem előtt tartva a hatékonyság, az elvárt minőségi jellemzők elérése, a fenntarthatóság feltételei, ezen belül a környezet megóvása fontosságát.

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

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

A műtrágyákkal már a 17. században megkezdődtek a vizsgálatok, bár a 19. századig nem volt jelentős a felhasználásuk (Hoffstee,1993). A szuperfoszfát termelés már 1842-ben megindult. 1860-tól már kálisót is alkalmaztak. Az első nitrogén műtrágya alkalmazása - guano és egyéb szerves anyagok formájában- a 19. század vége felé történt. A 19. század végén az ammónia gyártása is beindult. A 20. század elején már levegőből állítottak elő nitrogén műtrágyát és a műtrágya felhasználás a század során egyre nagyobb mértéket öltött.

Az első műtrágyaszóró gépek a 19. század végén jelentek meg. Ezek elsősorban különböző tányéros jellegű gépek voltak. Már ebben az időben található irodalmi hivatkozás a röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépekről, azonban ezek piaci részesedése az 1950-es évekig jelentéktelen volt. Ennek elsőrendű oka a műtrágyák kedvezőtlen fizikai jellemzői (por alak) voltak. Az 1950-es évek közepétől számuk jelentősen megnőtt. Először egytárcsás változataik terjedtek el, a 70-es évektől azonban a kéttárcsás gépek váltak általánossá (Crucq, 1992).

Ma a műtrágya jelentős részét világviszonylatban röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépekkel jutadják ki, hazánkban is ennek használata általános, ezért az alábbiakban ezekre a gépekre koncentrálok. Fontos, hogy ezek jól szabályozható, a kijuttatott mennyiség pontos mérésére és ellenőrzésére alkalmas, egyenletesen szóró gépek legyenek. Kisebb mértékben találkozunk pneumatikus műtrágyaszóró gépekkel (Heege-Rühle,1976; Hellweg,1980). Ezek az egyébként pontosan szóró gépek bonyolultak, drágák, ezért elterjedésük csak mérsékelt. A hatékony műtrágya kijuttatást számos feltétel befolyásolja. Ezek közül is meghatározó:

- a műtrágya jellemzői
- a gép konstrukciója;
- a gép beállításához szükséges paraméterek ismerete;
- a gép szakszerű beállítása és üzemeltetése, ezen belül a munkaszélesség pontos betartása, amely különböző módon oldható meg:
  - művelő úttal;
  - keretes gépeknél habjelző berendezéssel;
  - párhuzamosan vezető berendezéssel;
- a gép állagmegőrzése;
- a környezetvédelem figyelembevétele.

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 azok hatékony felhasználását. A műtrágyaszóró gépek pontos beállítása megfelelő szemcseméretű, azonos gyártó cég esetén időtől független szemcseeloszlású (szemcse spektrumú) műtrágyát igényel. A gépek beállítása adagtáblázatok alapján történik. Az adagtáblázatokban típusműtrágyák szerepelnek. A beállítás nehézsége, hogy az azonos célt szolgáló, azonos hatóanyag összetételű, esetleg

azonos néven forgalmazott műtrágyák szemcsemérete, szemcseösszetétele, szemcseszilárdsága és egyéb fontos jellemzői is eltérhetnek. A beállító táblázatok csak egy adott gyártó cég által forgalmazott műtrágyára érvényesíthető, amennyiben az előállító a gyártástechnológiát szigorúan betartja. Hiányoznak azok a nemzetközi szabványok, amelyek kikényszerítenék a gyártóktól a műtrágyák kedvező fizika jellemzőinek betartását biztosító technológia alkalmazását. Ezért nagyon fontos, hogy az alkalmazott legfontosabb műtrágyák fizikai jellemzőit ismerjük.

A röpítőtárcsás 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 szórás képben történő elhelyezkedésére ható tényezők közül a legfontosabbak azok, amelyek befolyásolják a műtrágyaszemcsék mozgását a röpítőtárcsa és a lapátok felületén, illetve meghatározzák azt, hogy a szemcsék a röpítőtárcsát, 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 elérhető 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 előírások előbb-utóbb nálunk is érvényre jutnak. Célul tűztem ki tehát, hogy a sorozatban gyártott gépeink új, az Európa Unióban érvényes előírásokat is kielégítő generációja kifejlesztéséhez megfelelő alapokat dolgozzak ki. Ennek megvalósítása érdekében tanulmányozom a röpítőtárcsás 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. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### A szórás egyenlőtlenség hatása a terméshozamra

A 60-70-es években hazánkban a műtrágyák felhasználása nem volt hatékony. A hatóanyag tartalom 10-15%-a szállítási és tárolási, 25-30%-a gyártási hiba miatt ment veszendőbe. (Demes-Gockler,1970; Asztalos,1972; Bányai *et al.*,1977). Az összes hatóanyag 35-45%-a tehát nem hasznosult. A felhasználás és a gyártás színvonala ebben az időszakban alig változott. Ennek döntő oka a felhasználói és a gyártói oldalon egyaránt érvényesülő mennyiségi szemlélet volt.

A 80-as évek során a korszerűbb mezőgazdasági üzemekben egyre inkább érvényesült a növények igényéhez igazodó, talaj és növényvizsgálatok alapján meghatározott tápanyag gazdálkodás. A mezőgazdasági üzemek egy részénél ugyanakkor az egyébként is kifogásolható minőségű műtrágyát még mindig szakszerűtlenül kezelték, tárolták. A műtrágyák fizikai jellemzőiben ennek következtében olyan változások mennek végbe, amelyek lehetetlenné tették az egyenletes kijuttatást. A műtrágyák gyakran olyan károsodást szenvedtek, hogy kiszórásuk műtrágyaszóró géppel lehetetlenné vált és „elterítésük” gyakran szervesztrágya szóró géppel történt.

A 90-es évekre hazánkban is kialakultak azok a műszaki feltételek, amelyekkel a műtrágyák egyenletes kijuttatása megoldható volt. Korszerű műtrágyaszóró gépeket fejlesztettek hazánkban (Csizmazia, 1983, 1984 a, 1986 a, b, 1987, 1990, 1993,b; Csizmazia-Demes, 1990; Csizmazia-Kökuti 1991) és külföldön egyaránt. Ezeket a gépeket a tőkeerősebb és igényesebb gazdaságok vásárolták meg. A tőkehiányban szenvedő gazdaságok azonban amellet, hogy minimálisra csökkentették a műtrágya felhasználást, és ezt is a nitrogén műtrágyákra korlátozták, rossz minőségű műtrágyaszóró gépekkel juttatták ki azt. Nagy számban érkeztek be hazánkba ugyanis -a kötelező gépvizsgálat hiánya következtében is- a nyugati piacon gyakran már eladhatatlan gépek, általában alacsony áron. Kellő szakismeret hiányában ezek a gazdaságok előszeretettel vásárolták meg ezeket a tápanyag egyenletes kijuttatására alkalmatlan gépeket. Tehát ezekben a gazdaságokban a kijuttatási technika jelentős romlása figyelhető meg. A hazai gyártású műtrágyaszóró gépek sem javítottak a helyzeten, hiszen számos hazai cég kezdett - minden kísérleti háttér és elméleti megalapozottság nélkül - műtrágyaszóró gépeket gyártani, amelyek a műtrágyaszóró gépekkel szemben támasztott agrotechnikai követelményeket általában nem elégítették ki. Szerkezeti kialakításuk nem

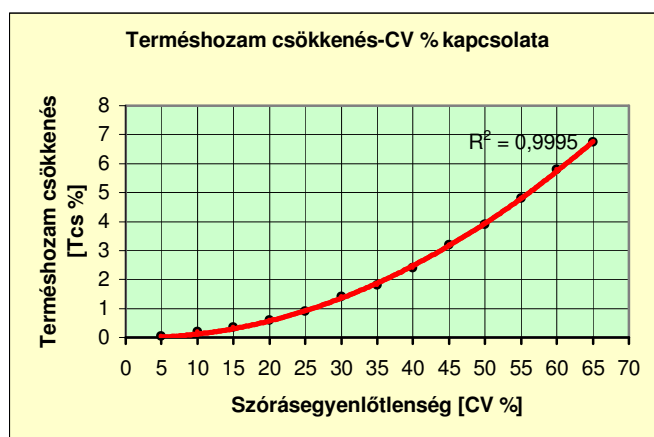
biztosította az előírt adagolás-egyenletességet, adagoló szerkezetük nem tette lehetővé a pontos adagbeállítást, szóró szerkezetük mind a munkaszélesség, mind a szórás egyenletesség tekintetében esetleges volt. Ezekkel a gépekkel a műtrágya rosszul szabályozott mennyiségben, egyenlőtlenül volt csak kijuttatható, így azonos hatékonyság elérése érdekében növelni kellett a kijuttatott műtrágya mennyiségét, ami növelte a költségeket, rontotta a termény minőségét, fokozta a környezet terhelését. Ezeket a súlyos hibákat a műtrágyaszóró gépek kötelező vizsgálatával lehetett volna csak megszüntetni. Erre azonban Nyugat-Európában is csak kezdeti lépéseket tettek. Ott azonban lényegesen kedvezőbb a helyzet, mert kialakultak azok a felhasználói szokások, amelyek alapján a gazdák a minősítő intézetek által -az érvényes szabványnak (lásd **2. melléklet**) megfelelő- munkaminőségi mutatókkal rendelkező gépeket vásárolják meg, így a gyártó cégeknek érdekük a gyártmányaik minősítése.

Az egyenlőtlen műtrágya kijuttatás pedig, csökkenti a hatóanyag hasznosulását, gátolja a növény egyenletes fejlődését, csökkenti a termést és rontja a termények minőségét. A kutatók ezeket a tényeket már évtizedekkel ezelőtt felismerték, és széleskörű vizsgálatokat végeztek a szórás egyenlőtlenség termés-csökkentő hatásának megállapítására. A vizsgálatokat általában nitrogén műtrágyával végezték, hiszen közismert, hogy ezek egyenlőtlen kijuttatása kritikusabb a növények fejlődése szempontjából. A műtrágya eloszlásának egyenlőtlenségét több paraméterrel határozták meg, ezek közül a középérték százalékában kifejezett szórás, a variációs koefficiens (CV%) a legfontosabb.

Marks (1959), cukorrépában végzett trágyázási kísérletet annak megállapítására, hogy a különböző N mennyiségek milyen mértékben hatnak a terméseredményre. Névleges mennyiségnek az általa optimálisnak vélt 160 kg/ha N hatóanyagot tekintette és az ehhez tartozó terméseredményt 100%-nak vette. Eredményeit telítődési függvényben ábrázolta. Szórási hibaként -50 és +90 %-os lineáris eltérést vett alapul, amelynél -15 és +17 %-os terméseredmény változás adódott. A vizsgálat bizonyította, hogy a műtrágya hasznosulása a műtrágya mennyiségének és az optimális mennyiségtől való eltérésnek a függvénye, legyen az eltérés pozitív, vagy negatív irányú. Ez a megállapítás az egyenlőtlenül kijuttatott műtrágyára is értelmezhető.

A szórás egyenlőtlenség és a terméshozam összefüggését általánosabban fogalmazták meg (Prummel-Datema, 1962), amikor három növényenél (gabona, cukorrépa, burgonya) vizsgálták az egyenlőtlen műtrágyázás hatását úgy, hogy a szórás egyenlőtlenség széles skáláját

alkalmazták. A műtrágyát különböző módon, kísérleti parcellákra juttatták ki. A kijuttatáshoz a vizsgálat idején a gyakorlatban alkalmazott néhány tányéros, röpítőtárcsás és lengőcsöves műtrágyaszóró gépet használtak. A szélsőséges értékek biztosításához pótkocsiról lapáttal, valamint kézzel történő szórást is alkalmaztak. A kontrollként alkalmazott egyenletes kijuttatást gondosan végzett kézi szórással biztosították. A vizsgálat előtt a különböző kijuttatási módok várható szórás egyenlőtlenségét meghatározták. A vizsgálat során alkalmazott kijuttatási módok 11 és 97 % közötti szórás egyenlőtlenség értéket képviseltek. A szórás egyenlőtlenség termés csökkenő hatását diagrammon ábrázolták (1.ábra).



1. ábra. A szórás egyenlőtlenség és a termés hozam kapcsolata

A termés csökkenés mértékét az optimális eloszlással nyert terméseredményhez viszonyították. Megállapították, hogy a termés csökkenés -a szórás egyenlőtlenség növekedésével- kezdetben kisebb mértékben, majd jelentősen nő, végül lineárisra változik. A gyakorlat számára még elfogadható 0,5% alatti termés csökkenés csak 20% alatti szórás egyenlőtlenséggel érhető el. Az 1% alatti veszteség 25 % alatti szórás egyenlőtlenséget feltételez. A 35% vagy ennél nagyobb egyenlőtlenséggel kiszórt műtrágya 2%-os, vagy ennél nagyobb termés csökkenést okoz. Annak érdekében, hogy a gyakorlatban az egyenlőtlen műtrágya kijuttatás ne okozzon 0,5% nál nagyobb termés depressziót, szántóföldi viszonyok között kell biztosítani a 20% alatti szórás egyenlőtlenséget. Ezt akkor lehet elérni, ha laboratóriumi körülmények között a gépek keresztirányú szórás egyenlőtlensége nem haladja meg a 15%-ot. Nem véletlen, hogy a nemzetközi szabvány 15%-os CV értéket ír elő, sőt törekvés van a szabvány szigorítására, a 10% elérésére.

Megállapították továbbá, hogy 0,5 m<sup>2</sup>-nél kisebb területen belüli egyenlőtlen eloszlás elhanyagolható, mivel a növények gyökérzete nivellálni képes az egyenlőtlenséget. A fenti

megfigyelés alapján a műtrágyaszóró gépek szórás egyenlőtlenségének vizsgálatához a 0,25 m<sup>2</sup> felületű, 500 x 500 mm méretű mérőtálca megfelelő.

A szórás egyenlőtlenség nagyobb mértékű terméskihatását tapasztalták (Kolberg *et al.*, 1968) árpa trágyázási kísérletben, amikor azonos műtrágya mennyiséget, három különböző szórás egyenlőtlenséget reprezentáló géppel juttattak ki.

A terméseredmény:

10 %-os szórás egyenlőtlenségnél 2,66 t/ha,

20-30%-os szórás egyenlőtlenségnél 2,50 t/ha,

50-70%-os szórás egyenlőtlenségnél 2,15 t/ha.

A 20 % feletti szórás egyenlőtlenséget megdőlt sávok is jelezték.

Zimmermann (1973), a vizsgálatba vont növények számának növelésével tovább általánosította a szórás egyenlőtlenség és termés hozam összefüggését. Vizsgálatait őszi búza N műtrágyázása esetén, vályog talajon, öntözés nélkül végezte. (**1. táblázat, 2. ábra**). Vizsgálatai alapján megállapította, hogy a szórás egyenlőtlenség terméscsökkentő hatása a műtrágya mennyiség nagyságának is függvénye és a mennyiség növelésével fokozódik.

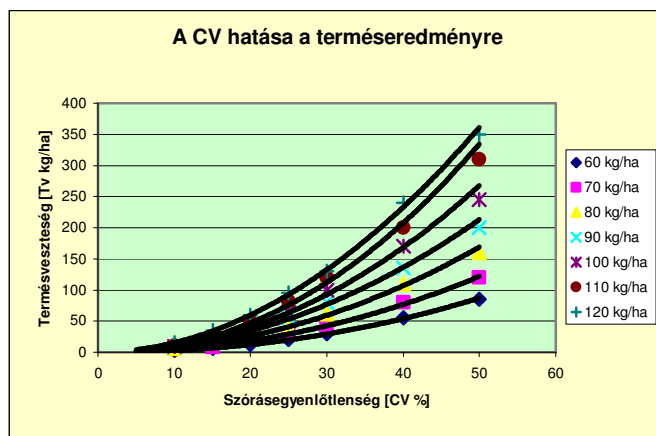
**A szórás egyenlőtlenség hatása a termésre különböző műtrágya mennyiségnél 1. táblázat**

CV [%]	10	15	20	25	30	40	50
N [kg/ha]	Terméscsökkenés [kg/ha]						
60	3	6	12	21	30	55	85
70	5	8	20	30	42	80	120
80	6	15	26	40	62	110	160
90	8	20	36	55	80	135	200
100	9	22	42	65	100	170	245
110	10	25	50	82	120	200	310
120	15	35	60	95	130	240	350

Az eredmények öntözetlen őszi búza kísérletre vonatkoznak. Megállapította továbbá, hogy a műtrágya egyenlőtlen kiszórása különösen kedvezőtlenül hat a gabonafélék mellett a burgonya és a füves keverék terméseredményére (**2. táblázat**).

A fentiek alapján kitűnik, hogy 30-50 % körüli szórás egyenlőtlenség 5-10 % terméscsökkenést okoz. Ez a szórás egyenlőtlenség érték becslés szerint megfelel a ma

hazánkban gondatlanul elvégzett műtrágyaszórás egyenlőtlenységének. Ennek termésátlaga már nagyon jelentős.



2. ábra. Az egyenlőtlen műtrágyázás hatása a termésátlagra

A szórás egyenlőtlen hatásának terméscsökkenő hatása különböző növényeknél

2. táblázat

Növény	Optimális terméshozam [t/ha]	Terméscsökkenés különböző „CV” értékeknél					
		15 %		30 %		50 %	
		[t/ha]	[%]	[t/ha]	[%]	[t/ha]	[%]
Silókukorica	42,0	0,309	0,8	1,232	3,3	3,428	9,2
Füves keverék öntözés nélkül	51,0	0,516	1,0	2,063	4,0	6,730	11,2
Füves keverék öntözéssel	66,0	0,709	1,1	2,837	4,2	7,880	11,9
Korai burgonya	22,5	0,277	1,2	1,105	4,7	3,070	13,2
Kései burgonya	29,5	0,329	1,1	1,295	4,4	3,656	12,5
Takarmányrépa	76,0	0,726	1,8	2,510	3,3	8,076	10,6
Cukorrépa	43,0	0,386	0,9	1,546	3,5	4,521	10,5

A műtrágyák egyenlőtlen kijuttatásának a termésátlagra gyakorolt hatása a kutatók egész sorát foglalkoztatta a későbbiekben is. Eredményeik általában igazolták a korábbi vizsgálati eredményeket, és azokat kiegészítették. Minden vizsgálati eredmény megegyezik abban, hogy a műtrágyák közül a N hatóanyagú műtrágyák egyenletes kijuttatása a legfontosabb (Rühle, 1976). Azonos következtetésre jutottak a kutatók abban is, hogy a műtrágya mennyiség növelésével a szórás egyenlőtlen hatásának terméscsökkenő hatása nő. Ez a hatás fokozódik, amennyiben a kiszórt műtrágya mennyiségek szélső értékeinek különbsége nagy, továbbá, ha

a legnagyobb és legkisebb mennyiségek térben távol esnek egymástól. Ellenkező esetben hatásos nivellálás figyelhető meg. Zschuppe (1968), vizsgálatai alapján javasolta, hogy a műtrágyaszóró gépekkel szemben támasztott agrotechnikai követelményekben a szórás egyenlőtlenség megengedhető felső határa N műtrágyáknál 20 %, egyéb műtrágyáknál és mész szórásánál 30 % legyen.

Saidl (1977), vizsgálataiban 20 %-os egyenlőtlenséggel kiszórt N műtrágya 5 % termésvesztést okozott. 40 %-os szórás egyenlőtlenségénél 10 %-os volt a termésvesztés az egyenletesen kiszórt műtrágyákhoz képest. Felhívta a figyelmet, hogy az egyenlőtlenül kijuttatott műtrágya a gabonáknál megdőlést okoz, aminek következtében csökken a betakarító gépek hatékonysága, nő a betakarítási veszteség. Így az összes veszteség elérheti a 30 %-ot.

Schünke (1978), kedvezőtlen fizikai jellemzőkkel rendelkező N műtrágyával végzett vizsgálatokat gabonában. A kijuttatás egyenlőtlensége 30% volt, melynek terméscsökkentő hatása 2-3 %-ot tett ki. Vizsgálatai alapján azt a következtetést vonta le, hogy a műtrágyaszóró gépeknél 10%-nál nagyobb szórás egyenlőtlenség nem engedhető meg. A pontosabb szórással elérhető termés eredmény növekedés véleménye szerint már kis területen (40 ha) természet gabonánál is gazdaságossá teszi pontosan szóró gépek beszerzését.

Vojtov (1979), a szórás egyenlőtlenség terméshozamra gyakorolt hatása mellett vizsgálta annak a termények minőségére gyakorolt hatását. Burgonya N műtrágyázási kísérletben, a szórás egyenlőtlenséget 21 %-ról 87%-ra növelve, a terméshozam 23,6 t/ha-ról 17,3 t/ha-ra csökkent. A 87%-os szórás egyenlőtlenséggel kiszórt műtrágyánál a termény 20%-kal kevesebb keményítőt tartalmazott. Megállapította, hogy a műtrágyát egyenletesen kijuttatni ugyan költségesebb, de a szórás egyenlőtlenségnek 50%-ról 20%-ra történő csökkentése már 0,01 t/ha terméshozam növekedésnél megtérül.

Meggyőző vizsgálatok eredményei alapján hívták fel tehát a figyelmet már a 60-as, 70-es 80-as években a szórás egyenlőtlenség és a terméshozam szoros összefüggésére. Rámutattak arra, hogy a műtrágya mennyiségével a szórás egyenlőtlenség terméscsökkentő hatása fokozódik. Emellett az egyenlőtlenül kiszórt műtrágya rontja a termények minőségét, csökkenti a betakarító gépek hatékonyságát, növeli a betakarítási veszteségeket. Nem véletlen, hogy a 80-as, 90-es években lendületet kapott a műtrágyaszóró gépek fejlesztése külföldön és itthon egyaránt (Csizmazia, 1986 a, b, 1987; Csizmazia-Demes, 1990). Ugyanakkor a hazai kisebb

gazdaságokban alkalmazott műtrágyázási módok jelentős szórás egyenlőtlenséget eredményeztek, amelynek a termesztés eredményességére gyakorolt negatív hatása számottevő volt, pedig a kisebb gazdaságok részére is rendelkezésre állt hazai fejlesztésű, korszerű műtrágyaszóró gép, elfogadható áron (Csizmazia, 1990; Csizmazia-Kökuti, 1991). A műtrágyaszóró gépek konstrukciós feltételei mellett jelentős szerepet játszik az üzemeltetés szakszerűsége (Csizmazia, 1984 b).

Fontos kérdés tehát a műtrágyaszóró gépek szórás egyenlőtlenségének csökkentése. Ehhez meg kell vizsgálni azokat a tényezőket, amelyek leginkább befolyásolják a gépek munkaminőségét.

### **A szórás egyenlőtlenséget meghatározó előírások**

Ma a tápanyagok döntő többségét teljesen felületre szórással juttatják ki. A műtrágyaszóró gépek haladás közben, a gép jellemzőiből adódó, meghatározott szélességű sávban szórják szét a műtrágyát. A szórás szélességben a műtrágya eloszlása általában nem egyenletes, a műtrágyaszóró gépek zöménél a szórás sáv két szélén a műtrágya kevesebb, középen több. Ezért a különbségek kiegyenlítése érdekében a gépeket átfedéssel kell üzemeltetni.

A műtrágyaszóró gépek legfontosabb jellemzője, hogy a munkaszélesség bármely szakaszán mért műtrágya mennyiség, ami optimális esetben egyezik az előre meghatározott műtrágya mennyiséggel, milyen mértékben tér el az átlagtól.

A műtrágyaszóró gépek szórás pontosságáról akkor kapunk hű képet, ha a gép teljes szórás szélessége, valamint a mérőterület hossza által meghatározott felületen szorosan egymás mellé mérőtálcákat helyezünk el, és a felfogott műtrágya mennyiség alapján határozzuk meg a gép általános szórás képét. Ez a vizsgálati módszer azonban nagyon munkaigényes ezért elfogadott módszer, hogy a keresztirányú- és a hosszirányú szórás képét határozzák meg és értékelik. Ennek megfelelően beszélünk a műtrágyaszóró gépek keresztirányú és hosszirányú szórás egyenlőtlenségéről.

A hosszirányú szórás egyenlőtlenség meghatározásától a vizsgálatok során gyakran eltekintenek, mert számtalan kísérlet bizonyította, hogy a gépek hosszirányú szórás egyenlőtlensége általában kisebb, mint a keresztirányú (Elia, 1966; Morin, 1967). A hosszirányú szórás egyenlőtlenség meghatározása akkor szükséges, ha az adagolás egyenlőtlenség, mely döntően kihat a hosszirányú szórás egyenlőtlenségre, nem megfelelő.

A fenti okok miatt, ha általánosan fogalmazva a műtrágyaszóró gépek szórás egyenlőtlenségéről esik szó (CV %), a szórás egyenlőtlenségi tényező a gép kereszt és hosszirányú szórás egyenlőtlenségére egyaránt vonatkozik.

A szórás egyenlőtlenség és a termés csökkenés összefüggésének ismeretében korábban különböző országokban más-más értékeket határoztak meg a műtrágyaszóró gépek szórás egyenlőtlenségének megengedhető értékére. A 20%-os szórás egyenlőtlenséget általában megengedhetőnek tartották (Elia, 1966; Paulen, 1976). A N hatóanyagú műtrágyákkal kapcsolatban azonban gyakran megszorításokat írtak elő és 10-15%-os szórás egyenlőtlenséget, mint felső határt követeltek meg (Luers, 1975; Paulen, 1976). Ugyanakkor a mész kijuttatásánál és esetenként a nem N hatóanyagú műtrágyáknál a 30%-os szórás egyenlőtlenséget is megengedhetőnek tartották. (Paulen, 1976). Hazánkban korábban a szemcsés és kristályos műtrágyák szórásánál 20%, por alakú műtrágyák és mész szórásánál 30% volt a megengedhető szórás egyenlőtlenség. A fenti adatokat a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépekre határozták meg, és eltérő értéket határoztak meg a teljes felületre szóró gépek esetén. Ezeknél a gépeknél a 10-15%-os szórás egyenlőtlenség volt a legnagyobb megengedett érték (Rühle, 1977).

A megengedhető legnagyobb szórás egyenlőtlenség meghatározásánál döntő szerepet játszott, hogy a rendelkezésre álló, valamint a fejlesztés alatt álló gépek milyen szórás egyenlőtlenség elérésére voltak képesek. Vizsgálatokat végeztek (Luers, 1975) annak megállapítására, hogy az egyenletes műtrágyaszórás szigorított követelményeit milyen gépekkel lehet teljesíteni. A vizsgálaton röpitőtárcsás, lengőcsöves, pneumatikus és teljes szélességben szóró gépek egyaránt részt vettek (a vizsgálati jelentésben nem közölték a vizsgált gépek számát). A célul kitűzött 10%-os szórás egyenlőtlenséget 2 db röpitőtárcsás, 2 db pneumatikus és 2 db teljes szélességben szóró gép teljesítette. Ebből azt a következtetést vonták le, hogy a műtrágyaszóró gépek munkaminőségét nem elsősorban a gépek konstrukciója, hanem az alkalmazott műtrágya minősége és a kezelő rátermettsége határozza meg. A műtrágyák minőségére, a kezelés, üzemeltetés fontosságára számos kutató irányította rá a figyelmet (Bányai, 1971; Luers, 1975; Paulen, 1976; Saidl, 1977).

A műtrágyaszóró gépek szórás egyenlőtlenségéért nem egy, vagy egyes tényezők felelősek, hanem számos tényező együtthatásaként alakul ki. A téma vizsgálata során ezért azonos fontosságot kell tulajdonítani a szórás egyenlőtlenséget jelentős mértékben befolyásoló összes tényező hatásának.

A műtrágyaszóró gépek munkaminőségének megismételhető ellenőrzését illetően jelentős lépés az egységes európai szabvány (*EN 13739-1 és 2*) bevezetése (a szabvány még nem lépett hatályba) (Schauer *et al.* (2003)). Európai szabványosítási bizottságot hoztak létre (CEN), amelynek az egyes nemzeti bizottságok szavazati jogú tagjai. A munkavédelmi előírásokon túl eddig nem volt egységes előírás például a környezetvédelemre. A műtrágyaszóró gépek gyártói készek arra, hogy egységes környezetvédelmi előírások elfogadása esetén gépeiket ezeknek a normáknak megfelelően gyártsák. Az Európai Unió egyes tagországaiban már korábban léteztek ezzel kapcsolatos előírások. Németországban például 1996-tól vannak érvényben előírások a fenti kérdésekben. Első lépésként elő kívánják írni, hogy a véletlenszerű szórást elkerüljék, és biztosítsák azt, hogy a kívánt mennyiségű műtrágyát a gépek kiváló egyenletességgel juttassák ki. A műtrágyák fizikai jellemzőiben ma olyan különbségek vannak, hogy nem lehet megadni a megkívánt gépbeállítási paramétereket, és a felhasználók a szórás előtt a gépeiket kalibrálni kénytelenek. Az előírt keresztirányú eloszlási követelményeket a gépeknek normál szórásban ép úgy teljesíteni kell, mint szélszórásnál. A szél- vagy határszórásnál most jelentkeznek először szigorú előírások. Ennek értelmében a táblaszél 5 m-es szélességében a kijuttatott mennyiség nem lépheti túl a normát 20%-kal. A táblaszéli átmeneti zónára bevezettek egy tényezőt, amely hasonló, mint a CV érték. Ezt az átmeneti sávra számítják ki, és értéke nem lehet nagyobb, mint 25%. A túlszórás mértékére bevezettek egy veszteségtényezőt (Y), amely a 3%-ot nem lépheti túl. Ez az érték 100 m hosszon mért túlszórt műtrágyamennyiség viszonyítva 1 ha-ra kijuttatott műtrágya mennyiséghez. Az előírások között realizálódott az a régen követelt szabály, hogy a gépeknek a 15%-os CV értéket szántóföldi körülmények között kell teljesíteni. A hosszirányú eloszlásra szintén előírásokat tartalmaz a szabvány. A tervezett adagmennyiségtől az eltérés 25 kg/ha alatt 15%, 25-150 kg/ha között 10%, 150 kg/ha felett 7,5% lehet. Még szigorúbb a szabvány a mért tömegáram közepes értékétől való eltérést illetően. Ebben az esetben az eltérés 25 kg/ha alatt 10%, 25-150 kg/ha között 7,5%, 150 kg/ha felett 5% lehet.

### **A műtrágyák jellemzői**

A hagyományos teljes szélességben szóró gépek /láncos, csigás, tányéros/ kevésbé voltak érzékenyek a műtrágyák minőségére. Munkaszélességük nem függött a műtrágyák fizikai jellemzőitől. Szórás egyenletességük még por alakú műtrágyáknál, vagy heterogén szemcseösszetételű műtrágya esetén is kielégítő volt.

A műtrágyák jellemzőinek vizsgálata a centrifugális (röpítőtárcsás, lengőcsöves) műtrágyaszóró gépek térhódításával került előtérbe. Elsősorban a műtrágyák fizikai tulajdonságait kísérték figyelemmel, amelyek a centrifugális műtrágyaszóró gépek munkaszélességét és szórás egyenlőtlenségét egyaránt befolyásolják (Rutland, 1986).

### **Méret, alak, szemcseösszetétel**

A centrifugális műtrágyaszóró gépek munkaszélességét és szórás egyenlőtlenségét a műtrágyák szemcsemérete és szemcseösszetétele jelentősen befolyásolja. A kiszórás szempontjából legelőnyösebb szemcseméret és szemcseösszetétel tekintetében eltérő vélemények tapasztalhatók. Hollmann-Mathes (1962), szerint 1,5 mm-es átlagos szemcseméret ( $d_k$ ) a megengedhető alsó határ. Véleménye szerint a szemcseösszetétel 4 mm-nél nagyobb szemcséket nem tartalmazhat. Általában kedvezőnek tartották az 1,5-3,5 mm közé eső műtrágyaszemcséket (Mikes-Daidl, 1969; Paulen, 1976). Megegyeztek a vélemények abban is, hogy az 1 mm-nél kisebb szemcsék (aprószemcsés frakció), (Bésán *et al.*, 1982) az egyenletes szórás szempontjából kedvezőtlenek, mivel a porfázisnak tekinthető műtrágya repülési távolságát döntően nem a szórószerkezet jellemzői, hanem a műtrágya szemcsemérete határozza meg (Hollmann-Mathes, 1962; Rjadnüh, 1965). A por alakú műtrágya érzékeny a szélre, a gép adagolószerkezetében technológiai zavarokat idéz elő, növeli mind a kereszt-, mind a hosszirányú szórás egyenlőtlenségét. A szél hatására jelentős veszteségek is keletkezhetnek, aminek mértéke 40-50%-ot is elérhet (Mikes-Daidl, 1969).

A kedvező szemcseméret tekintetében gyakran találkozunk a fentiekől eltérő mérethatárokkal. Doganovszkij-Kozlovskij (1972), megfelelőnek tartották az 1-5 mm-es mérethatárokat. A Német Szövetségi Köztársaságban (1979) 1,5-4,5 mm-es szemcsehatárokat írtak elő azzal a megkötéssel, hogy az átlagos szemcseméret 2,8-3,2 mm között legyen.

Általánosságban megállapítható, hogy az elfogadható szemcseméret határok 1-5 mm között helyezkednek el. Mind az 1 mm-nél kisebb, mind az 5 mm-nél nagyobb szemcseméret növeli a szórás egyenlőtlenségét.

Eltérő a kutatók véleménye arról, hogy az elfogadható mérethatárokon belül a műtrágyák szemcsemérete azonos, vagy különböző legyen. A kutatók egy része előnyösnek tartja, ha a szemcseösszetételben a legkülönbözőbb műtrágyaszemcsék egyforma arányban fordulnak elő, mert így széles szórási gyűrű keletkezik, amely csökkenti a szórás egyenlőtlenségét (Mikes-Daidl, 1969; Paulen 1976). Hollmann-Mathes (1962) szerint azonos közepes

szemcseátmérőnél /dk/ ha a szemcseösszetételben eltérő szemcsék találhatók, szélesebb szórási gyűrű keletkezik, mely javítja az eloszlást. Felhívta azonban a figyelmet arra, hogy ezt a hatást nem szabad túlbecsülni. Találkozunk ellenkező véleménnyel is, mely szerint a munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre a közel azonos szemcseméret hat kedvezően (Buczolics-Király, 1970). Paulen (1976) a műtrágyaszóró gépek munkaszélességének növelése és a szórás egyenlőtlenség csökkentése szempontjából előnyösnek tartotta, ha a 2 mm szemcseméret dominál a szemcseösszetételben.

A kérdés megítélésében nagy segítséget nyújt azoknak a kutatóknak a munkássága, akik a műtrágyaszemcsék kritikus sebességét (lebegtetési sebesség) és repülési viszonyait vizsgálták. Megállapították, hogy a műtrágyaszemcsék átmérőjének csökkenésével fokozott mértékben csökken a kritikus sebességük (Rjadnuh, 1965). 1 mm szemcseméret alatt a műtrágyák zömének 5 m/s-nél kisebb a kritikus sebessége.

Kusilkin (1966) 5 és 10 m/s kritikus sebességű műtrágyával végzett vizsgálatokat, különböző kezdősebességgel indítva a szemcséket. Az 5 m/s kritikus sebességű szemcsék repülési távolságát a különböző kezdősebesség lényegesen nem befolyásolta, a 10 m/s kritikus sebességű szemcsék (3-4 mm szemcseméretnek felel meg) repülési távolsága szoros összefüggést mutatott a kezdősebességgel.

Hollmann-Mathes (1962) szerint az 1 mm alatti szemcseméretnél a repülési távolság a szemcseméret függvénye. Az 1-3 mm közötti szemcseméretnél a kezdősebesség és a szemcseméret együttesen határozza meg a repülési távolságot. 3 mm felett a repülési távolság lényegében a kezdősebesség függvénye.

A fentiek alapján a centrifugális műtrágyaszóró gépekhez alkalmas műtrágya szemcseméretet 1-3 mm határok között célszerű megválasztani. A kritikus sebesség ebben az esetben 7 m/s körül van. Előnyös, ha a műtrágyaszemcsék 85 %-a a megadott határok közé esik. Ezen kívül eső műtrágyaszemcsék közül az 1 mm alatti szemcsék kritikusak. Ezért a vizsgálatokhoz felhasznált műtrágyáknál az 1 mm mérethatár alatti szemcsék részarányát több osztállyal célszerű megadni.

A hazai vizsgálatok során a szemcseösszetétel meghatározásánál az alábbi osztályok alakultak ki: 0,125 mm alatt, 0,125-0,5 mm, 0,5-1,0 mm, 1,0-2,0 mm, 2,0-4,0 mm, 4,0-5,0 mm, 5,0-6,2 mm és 6,2 mm felett (Demes, 1975), illetve a felső határ módosításával: 5,0 mm feletti szemcsék összevontan (Csizmazia, 1980a).

A műtrágyák kijuttatás szempontjából fontos fizikai jellemzőinek széleskörű vizsgálatára 1987-ben indítottak programot Hollandiában (Hofstee et al.; 1990, Hofstee; 1992, Hofstee, 1993). A vizsgálatok fő célja a műtrágyaszemcsék méret és alaki jellemzőinek, aerodinamikai és súrlódási jellemzőinek meghatározása volt. Megállapították, hogy a szórás szempontjából legfontosabb jellemzők a szemcseméret és méreteloszlás, az aerodinamikai és a súrlódási jellemzők.

A 90-es évek közepén a Debreceni Agrártudományi Egyetem Géptani Tanszékén átfogó vizsgálatokat kezdtek a mezőgazdaságban alkalmazott szemcsés anyagok (vetőmagvak, műtrágyák) fizikai jellemzőinek meghatározására (Csizmazia *et al.*, 1994; Polyák N I, 2001). A vizsgálatok során az alábbi jellemzőket vizsgálták:

- méret, méreteloszlás, alaki jellemzők;
- egyedi tömeg, térfogattömeg, ezer mag tömeg, sűrűség;
- aerodinamikai jellemzők;
- súrlódási jellemzők.

A vizsgálatokhoz korszerű eszközöket fejlesztettek (Csizmazia *et al.*, 2000, 2001). A vizsgálatok keretében meghatározták a Magyarországon széles körben alkalmazott műtrágyák szórás szempontjából fontos jellemzőit (Csizmazia-Polyák N I , 2001; Ancza *et al.*, 2002; Polyák-Csizmazia, 2003). Az alább felsorolt műtrágyákat vizsgálták:

1. Péthisó 27-0-0, (4 % magnéziumoxid). Gyártó: Nitrogénművek Rt. Pétfürdő
2. Granulált Kálisó 0-0-60. Forgalmazó: Tiszamenti Vegyiművek Rt. Szolnok
3. Komplex műtrágya NPK 15-15-15. Gyártó: Transcenter Műtrágyagyár Rt. Peremarton
4. Karbamid 46-0-0. Gyártó: Nitrogénművek Rt. Pétfürdő
5. Ammóniumnitrát 34-0-0. Gyártó: Nitrogénművek Rt. Pétfürdő

A műtrágyát zsákban, zárt térben tárolták, hogy a műtrágyaszemcsék fizikai jellemzőit megőrizze. A műtrágyából a feltöltés során, az előírásoknak megfelelően háromszor vettek mintát, és ebből készítették el az átlagos mintát. Ezt a mintavételi módszert mások is alkalmazták. A műtrágyák szemcseösszetételét szitaanalízissel határozták meg. A használt rázógéppel 500 g mintát 3 percig kezeltek. A rostaméret 0,8 mm, 1 mm, 2 mm, 2,5 mm, 4 mm és 6,3 mm volt. A mintát és a rostamaradékokat 0,1 g pontosságú mérlegen mérték meg. A háromszoros ismétléssel végzett vizsgálatok eredményét a **3. táblázat** tartalmazza.

A mérések alapján megállapítható, hogy viszonylag szűk a szemcsespektrum az NPK 15-15-15 komplex műtrágyánál, közel normális eloszlás mellett. A többi műtrágyára a széles szemcsespektrum és a normálistól eltérő eloszlás volt a jellemző. Ez ugyan a műtrágya-kijuttatás egyenletessége szempontjából nem feltétlenül kedvezőtlen, amennyiben a szemcseeloszlás jellege, valamint a szemcseösszetétel a gyártás során időben nem változik. A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek keresztirányú szórásképének kialakulása szempontjából kedvezőbb, ha a szemcsespektrum szűkebb és a szemcseeloszlás normális.

### **A műtrágya szemcsék egyedi tömege, térfogattömeg, sűrűség.**

A műtrágyaszemcsék egyedi tömegének mérése a légellenállási tényező számítása szempontjából fontos (Polyák-Csizmazia, 2003). Méréséhez 0,1 mg pontosságú mérleget használnak. A szemcsék térfogattömegének meghatározásához kalibrált mérőhengert alkalmaznak. A sűrűséget folyadékos piknométerrel, vagy lég-piknométerrel határozzák meg. A lég-piknométer alkalmazása azoknál a szemcsés anyagoknál fontos, amelyek belső zárványokat tartalmaznak (Gindert-Kele Á., 2005; Gyimes E., 2004).

### **A műtrágyák nedvességtartalma**

A műtrágyák nedvességtartalma jelentősen befolyásolja egyéb fizikai jellemzőiket, ezért a műtrágyák nedvességtartalmát minden esetben vizsgálják (Polyák-Csizmazia 2003). A nemzetközi szabványoknak is megfelelő módon, 25 g mintával, 3 szoros ismétléssel,  $103 \pm 1^\circ\text{C}$  hőmérsékleten, 72 óra szárítási idővel határozták meg a nedvességtartalmat. A minták tömegét 0,1 mg pontosságú mérleggel mérik meg. Az eredményeket a **3. táblázat** tartalmazza.

Az NPK 15-15-15 műtrágya nedvességtartalma a szokásos értéken van, a vizsgált jellemzőkre való hatása nem kifogásolható. A vizsgált nitrogén műtrágyák nedvességtartalma elfogadható.

### **A műtrágyák szemcsezilárdsága**

Kedvezőtlen jelenség, hogy a műtrágyák eredeti állapota a kezelés, tárolás során megváltozik. A műtrágyát ért mechanikai hatások, környezeti tényezők kedvezőtlenül változtatják meg jellemzőit. Előnyös lenne, ha a műtrágyaszemcse ellen tudna állni ezeknek a hatásoknak és meg tudná őrizni gyári állapotát. A műtrágyaszemcse különböző behatásokkal szembeni ellenálló képességének meghatározására különböző kísérleteket végeztek.

Sorszám	Műtrágya	Nedvesség-tartalom [%]	Szemcseösszetétel (500 g minta)		
			mm	g	%
1	Pétisó	0,40	0,8 alatt	2,9	0,56
			0,8-1,0 között	11,5	2,30
			1,0-2,0 között	193,7	38,74
			2,0-2,5 között	129,7	25,94
			2,5-4,0 között	157,0	31,40
			4,0 felett	5,3	1,06
2	Ammoniumnitrát	0,32	0,8 alatt	5,4	1,08
			0,8-1,0 között	11,5	2,30
			1,0-2,0 között	208,1	41,62
			2,0-2,5 között	149,0	29,80
			2,5-4,0 között	122,0	24,40
			4,0 felett	4,0	0,80
3	Karbamid	0,35	0,8 alatt	16,9	3,38
			0,8-1,0 között	12,6	2,52
			1,0-2,0 között	326,6	65,39
			2,0-2,5 között	132,1	26,45
			2,5-4,0 között	11,3	2,26
			4,0 felett	0,0	0,00
4	Kálisó	0,05	0,8 alatt	2,9	0,58
			0,8-1,0 között	2,5	0,50
			1,0-2,0 között	22,1	4,42
			2,0-2,5 között	71,3	14,26
			2,5-4,0 között	387,1	77,62
			4,0 felett	13,0	2,62
5	NPK 15-15-15	1,61	0,8 alatt	0,2	0,04
			0,8-1,0 között	0,1	0,02
			1,0-2,0 között	2,4	0,48
			2,0-2,5 között	23,0	4,60
			2,5-4,0 között	434,3	86,98
			4,0-6,3 között	38,4	7,68
			6,3 felett	1,0	0,20

A statikus szemcseszilárdság meghatározására egyedi szemcséken és halmazokon egyaránt végeztek vizsgálatokat (Doganovszkij-Kozlovskij, 1972; Brübach, 1973; Velebil, 1974). Megállapították, hogy a terhelés hatására szemcsesérülés és összetapadás jelentkezik. A

kisebb szemcsék ellenállása a nyomóerővel szemben nagyobb, mint a nagyobb szemcséké. Ezzel ellentétes megállapításra jutottak, ha különböző szemcseméretű műtrágyából azonos rétegszámot raktak egymás fölé. Ebben az esetben ugyanis a szemcseméret csökkenés nem függött a szemcsemérettől, hanem az eredmény anyag specifikus volt.

A szemcsesérülés elkerülése érdekében megfelelő szilárdságú szemcsék gyártása szükséges. Azt a műtrágyaszemcsét tartják megfelelő szilárdságúnak, amely összetett műtrágya esetén 2,5 mm szemcseméretnél 30 N terhelőerőt elvisel. 1,5 mm-es karbamid szemcse terhelhetősége 10 N (Kjohl, 1976).

A szemcseszilárdságot azonban a tárolás során számos tényező befolyásolja. 1 % nedvességfelvétel például az összetett műtrágyák szemcseszilárdságát 10-20%-kal csökkenti. 3 % nedvességfelvétel már jelentős károsodást okoz. A szemcsék megpuhulnak, ragacsossá válnak, kezelésre alkalmatlanok lesznek. A műtrágya állapotváltozását tárolás közben vizsgálva megállapították, hogy a környezeti levegőből is képes a műtrágya olyan mennyiségű nedvességet felvenni, ami a szemcsék széteséséhez vezet (Kozlovskij-Kijszler, 1970).

A nedvességfelvételt a megfelelő tárolási módok mellett a műtrágyák felületi kezelése is befolyásolja. A megfelelően felületkezelt műtrágyák kevésbé hajlamosak a nedvesség felvételére és az összetapadásra és 50-70% relatív páratartalom mellett sem vesznek fel károsító mennyiséget.

A műtrágyák szemcseszilárdságát a környezeti hőmérséklet is befolyásolja. Az ammóniumnitrát tartalmú műtrágyáknál például 32-33 °C-on átkristályosodás történik, a szemcsék összetapadnak, térfogatuk megnő. Tárolás során ezért védeni kell a hőhatástól és a hőingadozástól (Moberg *et al.*, 1969).

Hignett (1985) azt javasolta, hogy legyen a műtrágyaszemcsék szilárdságának egy előírt minimális értéke (15 N), hogy a műtrágyák kezelése és kiszórása során elkerüljék a szemcsesérülést.

Kämpfe-Greiner (1986) különböző törőszilárdságú műtrágyák (Kalcium ammónium nitrát: 19,9 N; Ammónium foszfát:40,7 N; Kálisó: 48,3 N) szemcsesérülését vizsgálták eltérő tárcsafordulatszám (550-1350 1/min) és anyagáram mellett. 1000 1/min fordulatszám mellett 8-11 % szemcseaprózódást tapasztaltak, kivéve a kálisót, ahol az aprítás mértéke csak 5-8 %

volt. 1350 1/min fordulatszám mellett 11-18 % ra növekedett a szemcseaprózódás mértéke, sőt a kalcium ammónium nitrát esetén az aprítás mértéke 18-28 % volt.

### A műtrágyák aerodinamikai jellemzői

A vizsgálatok során a műtrágyaszemcsék alábbi jellemzőit határozták meg (Polyák N I- Csizmazia Z, 2003):

1. méret  $a, b, c$  [mm] (3 egymásra merőleges méret);
2. legnagyobb keresztmetszet  $A=a*b$  [mm<sup>2</sup>] (két nagyobbik méret szorzata);
3. tömeg  $m$  [g];
4. lebegtetési sebesség  $v_t$  [m/s];
5. légellenállási tényező  $c_w=2*m*g/A*\rho_{lev}*v^2$ , ahol  $\rho_{lev}=1,25$  kg/m<sup>3</sup>;
6. egységnyi felületre eső tömeg  $m_a=m/A$  [kg/m<sup>2</sup>];
7. egységnyi keresztmetszetre eső tömeg és a lebegtetési sebesség összefüggése.

A fenti jellemzők közül pontosan lehet mérni a műtrágyaszemcsék három egymásra merőleges méretét ( $a, b, c$  [mm]), tehát az áramlási irányra merőleges keresztmetszet ( $A=a*b$  [mm<sup>2</sup>]) is pontosan számolható volt. Nagy pontossággal mérték meg a szemcsék egyedi tömegét ( $m$  [g]). A szemcsék lebegtetési sebességét ( $v$  [m/s]) a légcatorna mérési feltételei határozták meg. A légellenállási tényező ( $c_w$ ) a fenti mért adatokból számítható, tehát pontossága a mérés pontosságának a függvénye. A mért és számított eredményekkel leíró statisztikai vizsgálatokat végeztek a legfontosabb jellemzők értékeinek meghatározására, és összefüggés vizsgálatokat végeztek annak megállapítására, hogy a mért és számított tényezők milyen viszonyban vannak egymással. A vizsgálatok eredményei alapján számos fontos megállapítás született.

A műtrágyák többségénél az egységnyi felületre eső tömeg ( $m_a$ ) és a lebegtetési sebesség ( $v_t$ ) között volt a legszorosabb összefüggés. A Pétisó műtrágyánál az egységnyi felületre eső tömeg ( $m_a$ ) és a lebegtetési sebesség ( $v_t$ ) között közepesen szoros összefüggés van ( $r=0,8260$ ). A lebegtetési sebességet a vizsgált műtrágyánál tehát befolyásolja a szemcse tömege és a légáramra merőleges keresztmetszete.

Az Ammóniumnitrát műtrágyánál az egységnyi felületre eső tömeg ( $m_a$ ) és a lebegtetési sebesség ( $v_t$ ) között közepesen szoros összefüggés van ( $r=0,7587$ ). A lebegtetési sebességet a vizsgált műtrágyánál tehát befolyásolja a szemcse tömege és a légáramra merőleges keresztmetszete.

A Karbamid műtrágyánál az egységnyi felületre eső tömeg ( $m_a$ ) és a lebegtetési sebesség ( $v_t$ ) között közepesen szoros összefüggés van ( $r=0,8600$ ). A lebegtetési sebességet a vizsgált műtrágyánál tehát befolyásolja a szemcse tömege és a légáramra merőleges keresztmetszete.

A Kálisó műtrágyánál az egységnyi felületre eső tömeg ( $m_a$ ) és a lebegtetési sebesség ( $v_t$ ) között nincs szoros összefüggés ( $r=0,5769$ ). Ez feltételezhetően a kálisó szabálytalan alakjával magyarázható.

Az NPK 15-15-15 műtrágyánál az egységnyi felületre eső tömeg ( $m_a$ ) és a lebegtetési sebesség ( $v_t$ ) között közepesen szoros összefüggés van ( $r=0,8345$ ). A lebegtetési sebességet a vizsgált műtrágyánál tehát befolyásolja a szemcse tömege és a légáramra merőleges keresztmetszete.

A vizsgálatok eredményei alapján számos fontos megállapítást tettek. A vizsgálatok elemzései azért voltak fontosak, mert keresték a lebegtetési sebességet és a légellenállási tényezőt leginkább befolyásoló jellemzőket.

- A vizsgálatok arra utaltak, hogy a levegő áramlási irányára merőleges keresztmetszet és a tömeg jelentősen hat a lebegtetési sebességre. Ezért összehasonlítási tényezőként alkalmazták az egységnyi keresztmetszetre eső tömeget  $m_a$  [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ].
- A lebegtetési sebességet befolyásoló tényezők elemzése során megállapították, hogy a  $v_t$  három műtrágyánál a szemcse legkisebb méretével, két esetben az  $m_a$ -val és egy esetben a tömeggel mutatott szoros összefüggést.
- Megállapították továbbá, hogy a szabályos (gömböt közelítő) alakú műtrágyák esetén az  $m_a$  és a  $v_t$  összefüggését 0,75-0,93 korrelációs tényezők jellemzik. Ugyanakkor a kálisó esetén a korrelációs tényező értéke mindössze 0,57.
- Az átlagos lebegtetési sebesség növekvő sorrendben: Karbamid 7,82 m/s, Kálisó 8,72 m/s, NPK 15-15-15 9,94 m/s, Ammóniumnitrát 9,53 m/s, Pétisó 11,43 m/s.
- Ez a sorrend befolyásolja a műtrágyaszóró gépek várható munkaszélességét is, jóllehet arra egyéb tényező, pl. tömeg is hat. Nem véletlen, hogy a karbamiddal csak mérsékelt munkaszélesség érhető el, mivel a kis lebegtetési sebesség mellett még a kis sűrűség is kedvezőtlenül hat a röpítési távolságra. Ugyanakkor az Ammóniumnitráttal a vizsgált műtrágyák közül -azonos beállítási paraméterek között- a legnagyobb munkaszélesség

érhető el. Ezeknek a jellemzőknek tehát a gépek üzemeltetése szempontjából döntő jelentősége van.

- A légellenállási tényező ( $c_w$ ) a mért értékek közül a legszorosabb összefüggést két műtrágya esetén a legnagyobb mérettel, két esetben a legkisebb mérettel, egy esetben a tömeggel mutatott. Átlagos értéke növekvő sorrendben Karbamid 0,54, Pétisó 0,56, Ammóniumnitrát 0,58, NPK 15-15-15 0,73, Kálisó 1,00.
- Összességében megállapították, hogy a vizsgált műtrágyák, amelyek jól reprezentálják a hazánkban felhasznált műtrágyákat, fizikai jellemzőiket tekintve különbözők. A műtrágyák aerodinamikai jellemzői, amelyek a műtrágyaszemcsék légáramban való mozgása szempontjából fontos tényezők, lényegesen eltérnek egymástól. Ez a gépek beállítása és üzemeltetése szempontjából kedvezőtlen, hiszen ezek a műtrágyák, az eltérő jellemzők miatt eltérő beállítást igényelnek, amely növeli a beállítási hiba lehetőségét, és ezzel veszélyezteti a munka minőségét. Ezért a műtrágyákat gyártó cégeknek gyártástechnológiájuk kialakításánál figyelembe kellene venni az itt vizsgált fizikai jellemzők hatásait. Emellett az üzemeltetőknek is tisztában kellene lenni a műtrágyák sajátosságaival és azok munkaminőségre gyakorolt hatásával.

### **A műtrágyák súrlódási jellemzői**

A műtrágyák súrlódási jellemzői közül az alábbiak vizsgálatára került sor (Polyák N I-Csizmazia Z, 2003):

- rézsűszög
- belső súrlódás
- súrlódás felületen

A vizsgálatok eredményeit a **4. táblázat** tartalmazza. A vizsgálatok eredményeinek elemzése alapján számos megállapítást tettek.

A kedvező kifolyási jellemzők (kis rézsűszög) különösen a műtrágyaszóró gépeket gyártók, és üzemeltetők szempontjából bír jelentőséggel, hiszen a gravitációs adagolású tartályokat így alacsonyabbra lehet tervezni, ami a tartály feltöltése szempontjából kedvező. Kisebb a boltozódási veszély, kevésbé aktív boltozódás gátlóval is megfelelő eredmény érhető el és az adagoló nyíláson mért anyagáram egyenletesebb, az adagolás megbízhatóbb.

Jellemzők		Pétisó	Ammónium-nitrát	Karbamid	Kálisó	NPK
Dinamikus rézsúszög [°]		32	29	32	37	35
Belső súrlódási tényező	Rézsúszög alapján	0,62	0,55	0,62	0,75	0,70
	Forgó nyírókész.-el	0,42	0,37	0,35	0,52	0,56
Súrlódási tényező felületen	Rozsdamentes acél	0,29	0,20	0,18	0,26	0,22
	Fekete acél	0,40	0,32	0,35	0,44	0,39
	Horganyzott acél	0,32	0,30	0,24	0,26	0,23
	Alumínium	0,28	0,28	0,23	0,19	0,19
	PVC	0,29	0,25	0,23	0,21	0,20
	Bakelit	0,21	0,23	0,24	0,17	0,25
	Teflon	0,19	0,15	0,09	0,14	0,07
	Plexi	0,25	0,20	0,17	0,16	0,16
	Üveg	0,14	0,15	0,14	0,08	0,08
	Rétegelt fa	0,31	0,29	0,33	0,33	0,34

A műtrágyák belső súrlódási együtthatóját körforgó nyírókészülékkel határozták meg, ahol a nyírt felület a teljes nyírási folyamat alatt állandó, a vizsgált anyag a mérés során önmagán csúszik. A mérési eredményeket a **4. táblázat** tartalmazza.

A csúsztatási vizsgálatokhoz nyíródobozt és a gépgyártásban leggyakrabban alkalmazott anyagok közül 10 felületet alkalmaztak (Ancza *et al.*, 2002).

A vizsgált felületek: rozsdamentes acél, fekete acél, horganyzott acél, teflon bevonatú acél alumínium, bakelit, PVC, plexi, üveg, rétegelt fa. A mérési eredményeket a **4. táblázat** tartalmazza. A vizsgálatok eredményeinek elemzése alapján számos következtetés vonható le:

- a vizsgált műtrágyák rézsúszöge között jelentős a különbség, ami a tárolás, anyagmozgatás, kijuttatás során jelentős befolyásoló tényező;
- a körforgó nyírókészüléknél a súrlódási tényező az elmozdulás során közel állandó, értéke 0,35 és 0,56 között változott. A legkisebb a belső súrlódás a karbamid, a legnagyobb az NPK 15-15-15 összetett műtrágyánál;
- a csúsztatásos vizsgálatoknál a legkisebb a súrlódási tényező a teflon, üveg és plexi felületen. Itt a súrlódási tényező értéke terheléstől függetlenül 0.2 alatt maradt, illetve

plexi esetén pétisó és ammóniumnitrát műtrágyával érte el a 0.2 értéket. 0.2 és 0.3 közötti a súrlódási tényező a rozsdamentes acél, bakelit és PVC esetén. 0.3 és 0.4 közötti a súrlódási tényező a horganyzott acél, alumínium és rétegelt fa felületeken. 0.4 és 0.5 közötti a súrlódási tényező a fekete acél felületen.

- a terhelés növelésével a súrlódási tényező általában növekszik;
- a legkisebb súrlódási tényezők felületenként és műtrágyánként eltérőek. Közepes terhelés mellett rozsdamentes acél felületen karbamiddal, fekete acélon ammóniumnitráttal, bakelit felületen kálisóval, Plexi esetén kálisóval és NPK 15-15-15 műtrágyával, horganyzott acélon NPK 15-15-15 műtrágyával, alumíniumon kálisóval, PVC-n NPK 15-15-15 műtrágyával, rétegelt fa felületen ammóniumnitráttal, teflonon és üvegen NPK 15-15-15 műtrágyával mérték a legkisebb súrlódási tényezőt.
- egyes felületeken (bakelit, plexi, rétegelt fa), különösen nagyobb terheléseknél jelentős volt a vonóerő ingadozás és ez a súrlódási tényező értékeire is kihatott. Ennek feltételezhető oka a műtrágya erőteljes tapadása a sima felületen;
- ez a feltapadásból eredő vonóerő ingadozás egyes műtrágyáknál különösen jellemző volt (karbamid);
- szinte sohasem jelentkezett ez a vonóerő ingadozás acél felületen (rozsdamentes acél, fekete acél, horganyzott acél), kivéve, amikor a műtrágyafüggőség okozta a jelenséget;
- a vonóerő 10-15 mm-es elmozdulás után csak mérsékelten emelkedett, vagy stagnált, ugyanakkor a teflon felületén minden esetben, üveg esetén többségében csökkent.

### **A műtrágyák jellemzőinek megőrzése anyagmozgatás és tárolás közben**

A műtrágyát a tárolás és anyagmozgatás közben egyéb mechanikai behatások, elsősorban dörzsölő hatás éri. A tisztán dörzsöléses hatás nem okoz különösebb szemcsesérülést (Brübach, 1973). Amennyiben a dörzsölés nyomóhatással és felületi sértéssel párosul, jelentős szemcseaprítás keletkezik. Elsősorban a csigás anyagmozgatásra jellemzők a hasonló behatások, ezért ezt az anyagmozgatási módot célszerű mellőzni. Függőleges csigánál például,  $n=300$  1/min fordulatszámnál 2 perces üzem után 10-53%-os szétzúzási fok következett be. A sérülésre ennél a vizsgálatnál is a nagyobb szemcsék voltak érzékenyebbek. A csigás szállítás helyett részben a szemcsesérülés miatt, részben a keletkező porfázis kedvezőtlen hatásai miatt a szállítószalagok alkalmazását javasolták (Moberg *et al.*, 1969).

A kezelés közben fellépő hatások az eredetileg homogén műtrágyában olyan változásokat okozhatnak, melyek az egyenletes kiszórás szempontjából kedvezőtlenek. A műtrágyák felületéről por válik le, a szemcsék apró részekre hullnak szét, így a műtrágyában a porfázistól az eredeti legnagyobb szemcseméretig minden műtrágyaszemcse megtalálható. A gépek beállítása gyári állapotú műtrágyával történik, így az eredeti jellemzőit veszített műtrágyával romlanak az egyenletes kijuttatás feltételei.

A helytelen tárolás miatt keletkezett rögök technológiai zavarokat okoznak a műtrágyaszóró gép üzemében, növelve ezzel a gép szórás egyenlőtlenségét. A műtrágyák szállítása, mozgatása, tárolása során, tehát olyan feltételeket kell teremteni, mely a legkisebb változásokat hozza létre a műtrágya állapotában, és amely csökkenti a veszteségeket. Világviszonylatban elterjedt, jól gépesíthető, olcsó és nagyteljesítményű rakodást biztosító ömlesztve szállítás ebben a vonatkozásban néhány hátránnyal is jár. Itt elsősorban a szemcsesérülést, az anyag kedvezőtlen és egyenlőtlen tömörödését kell említeni (Andringa, 1970).

Jelentős szemcsesérülés lép fel az ömlesztve szállított műtrágya vagonból történő kitérőlésénél. Ennek csökkentése érdekében célszerű önürítő vagonok alkalmazása. Ez a szállítási mód az ürítés teljesítménye szempontjából is a legkedvezőbb (Brinschwitz-Regling, 1972; Buchner-Ullrich, 1974).

A megfelelő tároló hely hiány, valamint a kíméletesebb szállítás és rakodás miatt az utóbbi években világviszonylatban érdeklődés tapasztalható a konténeres szállítási módok iránt. A hagyományos zsákos szállítás is kialakítható egységgrakományként úgy, hogy 1 rakodólapra 30-50 zsákot helyeznek, és zsugorfóliával bevonják. Az így szállított műtrágya 1 évig is megőrzi eredeti állapotát (Grnlie, 1975). A zsákos szállítást azonban gyakran felváltják az egyszer vagy többször használatos műanyag konténerek.

Hazai vizsgálatok is voltak a műanyag konténerek alkalmazására. Megállapították, hogy a többször használatos, üresen kis helyigényű műanyag konténerek kíméletes szállítást biztosítanak. Szállítás és rakodás közben megóvják a műtrágya hatóanyagtartalmát, mérséklék a műtrágya fizikai jellemzőinek romlását. Csökkentik a fizikai munkát, valamint az élőmunka igényt. A zsákos szállításhoz képest csökkentik a szállítás, rakodás költségét. A műtrágya gyárak, valamint elosztó központok 100 km-es körzetében alkalmazható elsősorban ez a

technológia (Sütő, 1978; Papp, 1978). Meg kell azonban jegyezni, hogy a N műtrágyák tárolás közbeni állapotváltozását a konténeres tárolás sem akadályozza meg.

Luers (1975), olyan konténer alkalmazását javasolta, amely egyben a szórógép felépítménye. Ezzel a műtrágya szemcsesérülését lehetne kiküszöbölni és a gépek teljesítményét is fokozni.

Megfelelő tároló hely hiányában a tárolás során a műtrágya jelentős károkat szenvedhet. Bulgáriában a helytelen tárolás miatt a műtrágya károsodást 15-20%-ra becsülik. Megjegyzik, hogy megfelelő tárolással ezt a veszteséget 1-2%-ra lehetne csökkenteni (Völkov-Vaszilev, 1976). Hazai vizsgálatok alapján a műtrágya hatóanyag és porlási veszteséget 15-25%-ban határozták meg helytelen tárolás esetén (Asztalos, 1972). A műtrágya korszerű tárolásához és kezeléséhez teljesen gépesíthető, ragasztott faszerkezetű tárházakat építettek, melyek korrózió ellenálló képessége is jó volt. A műtrágyák fizikai jellemzőinek változását tárház hiányában is mérsékelni lehet. Amennyiben a műtrágya alá PVC ponyva, fölé csővázas fóliasátor kerül, szabadtéri tárolásnál is megőrizhető a műtrágya eredeti gyári állapota, minimális hatóanyag veszteséggel. 5 hónapos tárolási kísérlet során csak a felső 5-10 cm-es rétegben keletkezett nedvességfelvétel és a súlycsökkenés 3-4% volt. Még kedvezőbb eredmény született, ha a takaró fólia közvetlenül a műtrágyaprizmára került. Ebben az esetben a nedvességfelvétel tovább csökkent.

### **A műtrágyák keverése**

Korábban a műtrágyák jelentős része egy hatóanyagú műtrágyaként került forgalomba. Az alaptrágyázás során azonban általában mind a három alaphatóanyag kijuttatására sor kerül. Ezért a különböző hatóanyagú műtrágyák egyidejű kijuttatása -elsősorban a szórási menetek és ezzel a kijuttatási költségek csökkentése végett- kezdettől fogva felmerült. Gyakran alkalmazták azt a megoldást, hogy az egy hatóanyagú műtrágyákat házilag keverték és egy menetben kiszórták. Ez a módszer a centrifugális műtrágyaszóró gépek elterjedésével vált kritikussá. Ezek a gépek ugyanis az eltérő méretű műtrágyaszemcséket különböző távolságra röpítik. Egy hatóanyagú műtrágya szórásánál a szemcsék meghatározott mértékű eltérése megengedett. Műtrágyakeverékeknél azonban a különböző hatóanyag tartalmú szemcsék eltérő módon helyezkedhetnek el a munkaszélességben, és ez a hatóanyag eloszlását még abban az esetben is egyenlőtlené teheti, ha súly szerint a műtrágya eloszlása megfelelő. 25 %-os súly szerinti szórás egyenlőtlenesség mellett 60-70%-os hatóanyag eltérések is előfordulhatnak (Nazarov *et al.*, 1977).

Amennyiben a műtrágyakeverékekben az egy hatóanyagú műtrágyák szemcsemérete eltérő, úgy a munkaszélességet a legkisebb műtrágyaszemcse-mérethez kell meghatározni, és a többi műtrágyánál többszörös átfedéssel kell a kívánt mennyiséget elérni. Ez a módszer azonban súlyos hibák forrása lehet. Célszerűbb megállapítani, hogy a centrifugális műtrágyaszóró gépekkel a szórhatóság szempontjából azonos fizikai jellemzőkkel rendelkező egy hatóanyagú műtrágyákból készült keveréket lehet egy menetben kiszórni. Számos vizsgálatot végeztek annak megállapítására, hogy a különböző átmérőjű szemcsék szórás közben hogyan viselkednek. Megállapították, hogy a szemcsék szétválása szempontjából sem a szemcsék alakja, sem sűrűsége nem döntő, ha a szemcsék mérete közel azonos (Achorn-Kimbrough, 1970).

Az Egyesült Államokban (1973), végzett vizsgálatok során hasonló következtetésekre jutottak és megállapították, hogy a több hatóanyag tartalmú keverékekben a szemcsék méretkülönbsége nem haladhatja meg a 10%-ot. Ennél nagyobb eltérés nemcsak szórás közben okoz szétválást, hanem a műtrágyaszóró gépek feltöltése során szemcseméret szerinti osztályozódás következik be, amikor a kisméretű szemcsék a tartály közepére a nagyobb méretűek a szélére kerülnek. Ez az osztályozódás szórás közben egyenetlen hatóanyag eloszlást eredményez. Megjegyezték azonban, hogy ez az osztályozódás teleszkópos feltöltő cső alkalmazásával jelentősen csökkenthető (Balg *et al.*, 1979; Greiner-Jänicke 1979).

Irla (1976), a különböző szemcseméretű egy hatóanyagú műtrágyákból készült műtrágyakeverékekkel végzett kísérlete során megállapította, hogy a keresztirányú szórás képben az eltérő szemcseméretű műtrágyából az egyes mérőhelyeken túlnyomórészt eltérő méretű szemcsék találhatók. Így a hatóanyag eloszlás egyenetlenné válik. Következtetéseit kémiai hatóanyag vizsgálattal is alátámasztotta.

A több hatóanyagú műtrágyák egy menetben történő kijuttatásának másik és egyben legjobb megoldása az összetett műtrágyák alkalmazása (Andringa, 1970). Az összetett műtrágyák gyártását, a centrifugális rendszerű műtrágyaszóró gépek elterjedése sietette. Bár a megfelelő minőségű egy hatóanyagú műtrágyákkal a hatóanyagarányok tágabb változatát lehet biztosítani és a költség is kisebb (NSZK 1978), az egyenetlesebb szórás érdekében sok helyen az összetett műtrágyákat helyezik előtérbe, vagy szorgalmazzák azok gyártását (Lebedev, 1970).

## **A gépek szerkezeti egységeinek hatása a műtrágya egyenletes kijuttatására**

A műtrágyák jellemzői mellett a műtrágyaszóró gépek szerkezeti kialakítása is jelentősen hat a munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre. Bár a szórás egyenlőtlenség tekintetében a legtöbb kifogás a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépeket érte, mégis ezek terjedtek el világszerte leginkább. Elterjedésüket számtalan előnyük biztosította:

- a hagyományos műtrágyaszóró gépeknél lényegesen nagyobb munkaszélesség;
- központi tartály kialakításának lehetősége, mely nagyteljesítményű, gépi feltöltést biztosít;
- a nagyméretű központi tartállyal rövid távú szállítás is megoldható;
- a fentiek a gép kihasználását és nagy területteljesítményét biztosítják;
- a kiszórt műtrágya mennyiség széles határok között állítható;
- a gép munkaszélessége vetített ára töredéke a más elven működő gépekének;
- a központi szórószerkezet miatt a gép kialakítása egyszerű, mely könnyű kezelést és karbantartást biztosít.

A fenti előnyökkel szemben az összehasonlításban hátrányok is vannak:

- a kis szórás egyenlőtlenség csak pontos konstrukcióval és szakszerű üzemeltetéssel biztosítható;
- a kiszórt mennyiség befolyásolja a munkaszélességet és a szórás egyenlőtlenséget;
- a műtrágyák fizikai jellemzői jelentősen hatnak a gép munkaszélességére és a szórás egyenlőtlenségre.

A szerkezetek közül az adagoló- és a szóró szerkezet kialakítása a legfontosabb. Megoldása befolyásolja a hosszirányú és a keresztirányú szórás egyenlőtlenséget egyaránt. Azonban a gép egyéb szerkezetei is jelentős hatással vannak a gép munkaminőségére. Ezért célszerű a gépet a műtrágyaáram útját követve tanulmányozni.

### **A tartály**

A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek központi tartállyal rendelkeznek. Ha a *tartály* alakja és elhelyezkedése a gravitációs adagolást nem biztosítja, akkor a tartályból szállító szerkezet juttatja a műtrágyát az adagolónyíláson keresztül a szóró szerkezetre. A tartály megoldásától függően alkalmaznak szállítóláncot, szállítószalagot vagy csigát.

A műtrágya adagoló szerkezeten történő folyamatos áramlása csak rög- és szennyeződéstől mentes műtrágya esetén biztosítható. Ezért a műtrágya feltöltésénél meg kell akadályozni a műtrágyarögök és szennyeződések tartályba jutását. Ennek a feltételnek csak az a műtrágyaszóró gép felel meg, amely *betöltő ráccsal* rendelkezik. A műtrágyaszóró gép tisztítása szempontjából előnyös, ha a betöltő rács felhajtható, vagy kiemelhető. A rács lyukmérete ne legyen 25-30 mm-nél nagyobb (Csizmazia, 1997 a, b; Csizmazia-Polyák, 1997 a, b).

### **A boltozódás gátló szerkezet**

A gravitációs adagolású gépeknél folyamatos műtrágyaáramot csak kedvező paraméterekkel rendelkező *boltozódás gátló szerkezet* biztosít. A boltozódás gátló szerkezet léte, kivitele, paraméterei jelentősen befolyásolják a szórás teljes menetét, hiszen hiánya adagolás egyenlőtlenséghez, szélsőséges esetben a szórás szüneteléséhez vezethet, gyors mozgása pedig műtrágya aprítást végezhet, ami a munkaminőségi paraméterek romlása mellett a munkaszélesség csökkenését is előidézheti (Csizmazia-Polyák, 1997 a, b).

A kérdés megvilágítása azért fontos, mert a boltozódás gátló szerkezetet legegyszerűbben és legolcsóbban a röpitőtárcsa tengelyéről közvetlenül lehet mozgatni. A röpitőtárcsa azonban 500-1000 1/min fordulatszámmal forog. Ez a fordulatszám a boltozódás gátló szerkezetnél nem engedhető meg. Az erőgép teljesítmény leadó tengelyéről tehát lassító áttételen keresztül kell a boltozódás gátló szerkezetet hajtani. Jó, ha a boltozódás gátló szerkezet fordulatszáma nem haladja meg a 120-200 1/min értéket. A boltozódás gátló hajtásának megoldása tehát a gép minőségének egyik jelzője. A boltozódás gátló szerkezet természetesen lehet forgó, vagy lengő rendszerű. Ez utóbbi esetben a fent megadott fordulatszám érték a lengésszámra vonatkozik. Lényeges, hogy a boltozódás gátló szerkezet az adagoló nyílás közelébe mozogjon, de ne akadályozza a műtrágya szabad áramlását. A boltozódás gátló szerkezetekről összeállítás található Kassai-Pazsiczki, (1998) közleményében. A leírás a röpitőtárcsa tengelyére szerelt gyorsforgású boltozódás gátló szerkezetet említi, mint alap megoldást és megemlíti, hogy ettől eltérő megoldások is előfordulnak. A helyzet természetesen fordított. A korszerű gépeken ugyanis csak lassú fordulatszámú boltozódás gátló szerkezetek találhatók.

### **Az adagoló szerkezet**

A kényszeradagolású gépeknél, mint kihordó szerkezet szállítólánc a legelterjedtebb. Egyszerű kivitele, üzembiztossága miatt alkalmazzák elsősorban. A leggyakrabban

alkalmazott kaparóláncos megoldásnál hátrány, hogy kis láncsebességnél a hosszirányú szórás egyenlőtlenség növekszik. Ezt azonban a fenéklemez megfelelő kialakításával korrigálni lehet (az adagolószerkezetről fényképet mutatok be az „ANYAG ÉS MÓDSZER” részben, lásd az 5. és 7. ábrát).

A szállítószalag a hosszirányú szórás egyenlőtlenség szempontjából a legkedvezőbb. Hátrányként a megnyúlásból eredő technológiai és műszaki zavarok említhetők (lásd 6. ábrát).

Ritkábban alkalmazott megoldás a csiga, mely mind üzembiztosság, mind adagolás egyenlőtlenség szempontjából megfelelő, kivitele azonban költségesebb, mint az előzőké és szemcseaprító hatása kedvezőtlen.

Az aktív adagolóberendezések sebességének változtatásával szabályozható az időegység alatt kiadagolt műtrágya mennyisége. Szabályozható továbbá résállító szerkezet segítségével is. A hosszirányú szórás egyenlőtlenség növekedését eredményezheti a műtrágya egyenlőtlen tömörödése. A résállító szerkezeten keresztül áramló műtrágya mennyisége a tömörödés következtében az elméletileg számított mennyiségtől 10%-kal is eltérhet (Nazarov *et al.*, 1977).

Még nagyobb eltérést tapasztaltak vizsgálatuk során Doganovszkij-Kozlovskij (1972). Kimutatták, hogy a résállító szerkezeten kiáramló műtrágya mindenkori térfogatárama a sűrűség, szemcseméret, szemcseösszetétel, a szemcsék közötti hézag, a műtrágya nedvességtartalma, valamint a vizsgált réteg felett lévő műtrágya nyomásának a függvénye. Méréseik szerint a térfogatáram növekedés 40 % is lehet. A rázó hatás, mely a műtrágyaszórásakor fellép, jelentősen megváltoztatja a térfogatáramot. Vizsgálataik szerint a tömörödési együttható 1,05-1,6 között változik. A heterogén szemcse összetételű műtrágyáknál a tömörödés mértéke kisebb.

A fentiek miatt nem előnyös, ha a műtrágyaszóró gép a műtrágya szállítását is végzi, mert a hosszabb távú szállítás elősegíti a műtrágya egyenlőtlen tömörödését, és ezzel növeli a hosszirányú szórás egyenlőtlenségét.

A hosszirányú szórás egyenletesség a járókerék arányos hajtású adagolószerkezetekkel biztosítható legjobban. Ennek szokásos megoldása, a járókerékről dörzskerékkel történő hajtás, azonban nem tudja kiküszöbölni a járókerék vagy a dörzskerék csúszásából adódó

adagolás egyenlőtlenséget. Ezért az utóbbi időben olyan hajtásmódokat fejlesztettek ki, ahol a járókerékről csak az útarányos jelet veszik, és a kihordószerkezetet e jellel vezérelt hajtó egység mozgatja, vagy külön talajkerékről közvetlenül hajtják a kihordószerkezetet.

### **Az elosztó és adagolási hely állító szerkezetek**

Az adagoló szerkezettől a műtrágya az elosztószerkezetre jut. A műtrágyát a röpitőtárcsára vezető szerkezet pontatlan kialakítása következtében kéttárcsás szórószerkezet esetén a röpitőtárcsákra eltérő mennyiségű műtrágya kerülhet, mely asszimmetrikus szórásképet eredményez és növeli a keresztirányú szórás egyenlőtlenséget. Az asszimmetrikus szórás kép a csatlakoztatást is megnehezíti és az átfedéssel az egyenlőtlenség csak részben korrigálható (Sedlak, 1970).

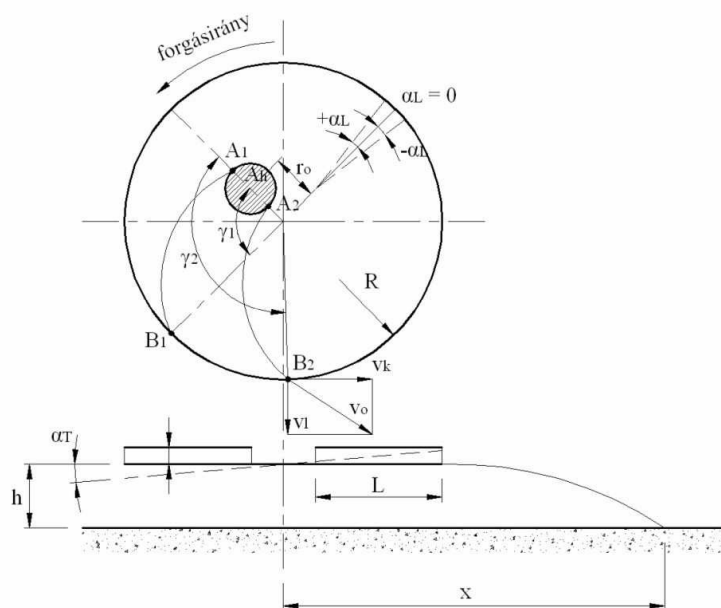
Az elosztó szerkezettel –gravitációs adagolásnál állítható rávezető szerkezettel- a műtrágya a röpitőtárcsa különböző felületére juttatható. *Adagolási helynek* nevezzük a műtrágya feladási pontját a röpitőtárcsa felületén. A műtrágyák eltérő fizikai jellemzői miatt az adagolási helynek meghatározó szerepe van a gépek keresztirányú szórás egyenlőtlenségére (Csizmazia, 1993/b). Gyártanak állandó adagolási hellyel gépeket. Ekkor feltételezik a műtrágyák azonos fizikai jellemzőit.

### **A röpitőtárcsa**

A téma tárgyalásánál a **3. ábra** jelöléseit alkalmaztam. Az általam vizsgált röpitőtárcsákat lásd a 11. és 12. ábrán)

A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek jellemzői közül a munkaszélességet és a szórás egyenlőtlenséget döntően a röpitőtárcsa által hordozott szórólapátok paraméterei befolyásolják (Csizmazia *et al.*, 1995). A fejlesztés kezdetén 1 db függőleges tengelyű, lapátozott, gyorsan forgó tárcsát alkalmaztak a műtrágya szétszórására. A műtrágya mennyiségek, valamint a gépek munkaszélességének növelésével, az egyenletesebb szórás érdekében szükségessé vált 2 db röpitőtárcsa alkalmazása.

A röpitőtárcsák számát illetően ma is fellelhetők eltérő nézetek. Kegelesz, (1969) helytelennek tartotta a két röpitőtárcsa alkalmazását, mert szerinte a két tárcsa növeli a gép bonyolultságát és csökkenti az egy tárcsára eső munkaszélességet.



- $h$  - a tárcsa talaj feletti magassága
- $R$  - a tárcsa sugara
- $r_0$  - adagolási hely távolsága a középponttól
- $A_h$  - adagolási hely
- $A_1, A_2$  - műtrágya szemcse érintkezése a tárcsával
- $B_1, B_2$  - kirepítési pont
- $\gamma_1, \gamma_2$  - együttfutási szög
- $\alpha_L$  - lapátbeállítási szög
- $\alpha_T$  - tárcsabeállítási szög
- $v_k$  - tárcsa kerületi sebesség
- $v_l$  - lapátmenti sebesség
- $v_o$  - kirepítési sebesség
- $L$  - lapát mérete
- $x$  - hajtási távolság

**3. ábra. A röpitőtárcsa felületén mozgó műtrágya szemcse pályájának elemzése során alkalmazott jelölések.**

Morin, (1967), megállapította, hogy az egy szórótárcsával nyert körgyűrű alakú szórás kép kiegyenlítetlen eloszlást mutat, mert a szórás kép közepe beesik, a szórás képnek két csúcspontja van.

Brübach, (1973), véleménye szerint egy röpitőtárcsával csak egy fajta műtrágyával érhető el szimmetrikus szórás kép, mert az eltérő sűrűlési viszonyok miatt minden más műtrágyánál asszimmetrikus lesz az eloszlás. Kéttárcsás műtrágyaszóró gépnél a különböző műtrágya szórása esetén szimmetrikus marad a szórás kép, de a szórás kép közepén változik a műtrágya mennyisége.

Rumjancev, (1971), kétségbe vonta, hogy kéttárcsás műtrágyaszóró gépekkel 8-10 m-nél nagyobb munkaszélesség érhető el megfelelő szórás egyenletesség esetén.

Hofstee, (1993), a kéttárcsás szóró szerkezet mellett érvel, mivel a szórás kép szimmetria jobban tartható, mint egytárcsás gépekkel.

Az eltérő vélemények általában abból adódnak, hogy a kutatók egy része a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek egyes paramétereit kiragadva, a többi jellemzőtől függetlenül vizsgálta, aminek következtében félreérthető jelenségeket talált. Ma már a korszerű gépeket kéttárcsás szóró szerkezettel készítik, részben a szórás kép szimmetria biztonsága, részben a jobb

szóráskép szabályozás miatt. Azonban az is nagy előny, hogy a kijuttatott műtrágya két tárcsára, ezzel 4 lapátra oszlik meg, ami javítja az egyrétegű mozgás feltételeit a lapát felületén, növeli a lapát menti sebességet, ezzel nő a leválási sebesség és a munkaszélesség (Csizmazai-Polyák, 1997 a, b).

Sedlak, (1970), vizsgálta a röpitőtárcsa fordulatszámának változása függvényében a munkaszélesség változását. Figyelmen kívül hagyta azonban, hogy a tárcsa fordulatszámának változtatásával az adagolási helyet is meg kell változtatni. Így a kapott eredmények hibás következtetések levonásához vezettek. Ugyanakkor a röpitőtárcsa fordulatszám ingadozása jelentős munkaminőség csökkenést eredményez, tehát biztosítani kell a tárcsa állandó fordulatszámát (Csizmazia, 1982).

A röpitőtárcsa jellemzőinek vizsgálatánál tehát figyelembe kell venni azok egymásra hatását is. A munkaszélességet és szórás egyenlőtlenségét befolyásoló legfontosabb jellemzők megítélése tekintetében megoszlanak a vélemények.

Elia, (1966), a szórás egyenlőtlenséget az alábbi jellemzőkkel javasolta javítani:

- a röpitőtárcsák megfelelő elhelyezése;
- a lapátok alakjának és beállításának helyes megválasztása;
- a szórási szektor célszerű megválasztása;
- a röpitőtárcsa kerületi sebességének megfelelő szinten tartása;
- a műtrágya szemcseösszetételének helyes megválasztása;
- az adagológarat optimális terhelésének meghatározása;
- a szórógép körültekintő beállítása;
- szórás szabályzó ernyő alkalmazása és megfelelő beállítása;
- a talaj és a környezeti viszonyok figyelembe vétele.

Doganovszkij *et al.*, (1968) szerint a műtrágyaszemcsék repülési távolságát, valamint az eloszlás minőségét az alábbi jellemzők határozzák meg:

- a röpitőtárcsa talaj feletti magassága
- a műtrágyaszemcsék vízszinteshez viszonyított kirepítési szöge
- a részecskék kirepítési sebessége
- a részecskék kritikus sebessége
- a műtrágyaáram sűrűsége
- a szél erőssége és iránya.

Mikes-Daidl, (1969), a megfelelő minőségű műtrágyaszórás feltételeit az alábbiakban határozták meg:

- a megfelelő műtrágya és annak jó előkészítése
- állandó röpitőtárcsa fordulatszám
- egyenletes műtrágya adagolás
- állandó haladási sebesség
- megfelelő csatlakoztatás.

Heege-Rühle, (1976) szerint a megfelelő szórás egyenlőtlenség eléréséhez számos tényező optimális egybeesése szükséges:

- megfelelő szemcseeloszlás
- a műtrágyák megfelelő belső és külső súrlódási tulajdonságai
- optimális adagolási hely
- megfelelő tárcsa kerületi sebesség
- megfelelő lapát beállítási szög
- pontos csatlakoztatás
- befolyásoló tényező továbbá a műtrágya mennyiség.

A fenti tényezők sok vonatkozásban eltérnek egymástól, abban azonban azonosság tapasztalható, hogy a műtrágya jellemzői, a konstrukciós kérdések és az üzemeltetési feltételek döntő szerepet játszanak a megfelelő munkaszélesség és szórás egyenlőtlenség elérésében. A műtrágyaszóró gép legfontosabb konstrukciós jellemzőit illetően nagyon megoszlanak a vélemények, célszerű tehát e tekintetben alaposabb vizsgálatokat végezni.

A röpitőtárcsa jellemzőinek helyes megítéléséhez ismerni kell a röpitőtárcsa felületén lejátszódó mozgásfolyamatokat. A röpitőtárcsára adagolt műtrágyaszemcse mozgásának elméleti kérdéseivel hazánkban is több kutató foglalkozott (Csizmazia, 1968; Buczolics-Király, 1970; Kaifás, 1975; Csizmazia, 1986 a; Csizmazia-Polyák, 1997 a, b). Ezek az elméleti munkák nagyban elősegítették a röpitőtárcsa jellemzőinek helyes értékelését és megteremtették a szórás egyenlőtlenség csökkentésének feltételeit.

A munkaszélesség és a szórás egyenlőtlenség célszerű alakításában jelentős szerepe van az adagolási helynek (Csizmazia, 1983), ami nagymértékben meghatározza, hogy a műtrágyaszemcse a röpitőtárcsát melyik ponton hagyja el. Amíg a műtrágyaszemcse az  $A$  ponttól a  $B$  pontig jut (**lásd 3. ábra**) a tárcsa  $\gamma$  szöggel fordul el. A  $\gamma$  szöget, mely alatt a

műtrágyaszemcse a röpítőtárcsával együtt mozog, együttfutási szögnek nevezzük. Az adagolás azonban nem pontszerű. Meghatározott keresztmetszeten jut a műtrágya a tárcsa felületére. Az adagolási keresztmetszetből számtalan műtrágyaszemcse indul el a tárcsa felületén, hasonló pályát leírva. A tárcsa kerületéhez legközelebb adagolt műtrágyaszemcse az  $A_1$  pontból indul, és a  $B_1$  pontban hagyja el a tárcsát. A tárcsa középpontjához legközelebb adagolt műtrágyaszemcse az  $A_2$  pontból indul, és a  $B_2$  pontban repül le. Az előbbi esetben a lerepüléshez a tárcsának  $\gamma_1$ , az utóbbi esetben  $\gamma_2$  szöggel kell elfordulni. Az adagolási hely, valamint a két szög ismeretében meghatározható az üzemi szórásszög, röviden szórás szög  $\gamma_0 = \gamma_2 - \gamma_1$ , valamint a tárcsa kerületének az a szakasza, ahol a műtrágya kiáramlás történik. A szórási szög nagysága, valamint a tárcsa kerületén való elhelyezkedése döntően befolyásolja mind a munkaszélesség, mind a szórás egyenlőtlenség alakulását. A szórási szög nagyságát azonban számtalan tényező befolyásolja. Az adagolási hely tárcsaközép felé történő elmozdításával, valamint az adagolási keresztmetszet növelésével növelhető a szórási szög (Kusilkin, 1966, Poloneckij-Pereverzev, 1969, Rumjancev, 1971, Csizmazia, 1983). A szórási szög növelése – bizonyos határokon belül – azért előnyös, mert ezzel a szórás egyenlőtlenség is csökken.

Hollmann-Mathes (1962) szerint az adagolási hely ( $A_h$ ) tárcsaközéptől mért távolságának növelésével az együttfutási szög jelentősen, a szórási szög kisebb mértékben csökken. Növekszik viszont az együttfutási szög a műtrágya szemcseméret csökkentésével. A műtrágya mennyiség növelésével a szórási szög növekszik.

Szkol'zajev-Csernovolov (1969) szerint az optimális szórási szög 100-200°.

A szórási szög növelése az adagolási hely tárcsaközép felé történő elmozdításával csak korlátozott mértékben lehetséges, mert az adagolási keresztmetszet nem érintheti a tárcsa középpontját. A tárcsa közepére került műtrágyaszemcsék ugyanis meghatározhatatlan mozgást végezve, nem kívánt irányban indulhatnak el a tárcsa felületén, ezzel bizonytalaná teszik a szórási szög nagyságát és helyzetét, így rontják a gép munkaminőségét (Csizmazia, 1983).

A tárcsa közepétől távolabb történő adagolás viszont csökkenti a szórási szöget, ezzel rontja az egyenletes műtrágyaszórás feltételeit (Kaifás, 1975). Az adagolási keresztmetszet tehát csak a tárcsa középpontja felé tolható el úgy, hogy műtrágya ne kerüljön a tárcsa

középpontjába. Ezt figyelembe véve az adagolási keresztmetszet alakjára és elhelyezkedésére különböző javaslatok születtek.

Kusilkin (1966), hossz tengelyével a tárcsa közepe felé mutató elliptikus keresztmetszetet tartott ideális adagolási felületnek.

Dobler-Flatow (1969), a műtrágya egyenletes kijuttatása szempontjából a keskeny radiális nyílást tekintette jónak. Nagyobb adagnál azonban olyan hosszú nyílásra lenne szükség, hogy a közép adagolás elkerülhetetlen lenne, ezért javasolták több keskeny radiális nyílás alkalmazását. Megjegyezték azonban, hogy a keskeny nyílások adagolási nehézséget okozhatnak, és a több keskeny nyílás meredekfalú szóráskep keletkezését eredményezi, mely csatlakoztatás szempontjából kedvezőtlen. Megállapították, hogy a szórási szög növekedése a műtrágya mennyiség növelésének is függvénye. Javasolták, hogy nagyobb adagok esetén az adagolási helyet el kell fordítani a forgásiránnyal szemben.

Az adagolási helyet a gép üzemeltetése során a terepviszonyok is befolyásolják. Patterson (1964), vizsgálataiban arra figyelt fel, hogy a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek lejtős területen történő üzemeltetésénél nagyobb mértékben romlottak a munkaminőségi jellemzők, mint azt az elméleti számítások alapján várni lehetett. Megállapította, hogy a lejtőn mozgó gépnél megváltozik az adagolás helye, ezen kívül a ferdén álló tartályban oldalra torlódik, és egyenetlenül tömörödik a műtrágya, mely az adagolás szimmetriáját is megváltoztatja. Ez a jelenség mind rétegvonal menti, mind lejtő irányú művelésnél jelentkezett.

A lejtőhatás és a terepegyenlőtlenség ilyen irányú következménye csökkenthető, ha az adagolónyílást közel helyezik el a tárcsa felületéhez (Achorn-Kimbrough, 1970). Ez a távolság azonban általában nagyobb, mint a lapátok magassága, mert az adagolási felület az esetek többségében érinti a lapátok belső végét. Ez egyben a veszéllyel is jár, hogy a lapátok beleütnek a műtrágyaáramba, ami szemcseaprításhoz, a szemcsék meghatározhatatlan irányú elpattogásához vezet. Ez kihat a gép munkaminőségére és növeli a tárcsa teljesítményfelvételét is (Brinsfield-Hummel, 1975).

A műtrágyaáram és a lapátok ütközésének elkerülése, valamint az adagolási hely pontos beállítása érdekében tölcseáramú adagológáratok alkalmazását javasolták (Mikes, 1969; Sedlak, 1970; Brübach, 1973; Heymann, 1977). A lapátok szemcseaprító hatása nem jelentkezik, ha a feladás helye a tárcsa középpont közelében van, ahol a kerületi sebesség még kicsi (Csizmázia-Polyák, 1997 a, b).

## A röpítőtárcsa mérete, alakja és elhelyezkedése

Megoszlik a kutatók véleménye, hogy a röpítőtárcsa mérete befolyásolja-e a gép munkaminőségét. Egyetértés van abban, hogy a tárcsa átmérőjének növelésével csökken a szórási szög (Kusilkin, 1966, Csizmazia, 1983). Miután a szórási szög növelése csökkenti a szórás egyenlőtlenséget, a tárcsák átmérőjének növelése ebből a szempontból nem látszik célszerűnek.

Rumjancev, (1971) 400 mm átmérőjű tárcsát javasol.

Röpítőtárcsaként korábban általában síktárcsákat alkalmaztak, mert gyártástechnológiai megfontolásokból ezt tartották a legkedvezőbbnek. A munkaszélesség növelése érdekében azonban a vízszintes hajítás helyett előnyösen alkalmazható a ferdehajítás. Megvalósítása kúpos tárcsa, vagy a vízszintessel szöget bezáró síktárcsa alkalmazásával lehetséges.

Hollmann-Mathes, (1962) szerint, 9°-os tárcsaszög 50%-os szórásszélesség növekedést eredményez a síktárcsával szemben. Felhívta azonban a figyelmet arra, hogy a tárcsaszög növelésével növekszik a porképződés és a szélhatás.

A munkaszélesség növelése és a szórás egyenlőtlenség csökkentése érdekében duplafedelű, zárt röpítőtárcsa alkalmazását javasolták (Doganovszkij *et al.*, 1968).

Demes, (1977 b), különböző röpítőtárcsával végzett vizsgálatok során középen sík, külső részén kúpos, duplafedelű, csillag alakú tárcsát talált legmegfelelőbbnek, mind munkaszélesség, mind munkaminőség szempontjából.

Csizmazia-Polyák (1997a, b) megállapították, hogy a tárcsa átmérője kevésbé fontos tényező, mert a tárcsa feladata lényegében a lapátok hordozására korlátozódik. Ebben a tekintetben a tárcsa átmérőjét nem kellene 400 mm-nél nagyobbra választani. A nagyobb munkaszélességű gépeknél alkalmazott hosszú lapátok alátámasztása érdekében azonban ismét növelik a tárcsák átmérőjét.

A röpítőtárcsák talaj feletti magassága a munkaszélességet növeli, a szórás egyenlőtlenséget lényegesen nem befolyásolja. Mértékét elsősorban szerkezeti okok határozzák meg. Hollmann-Mathes, (1962), nem tartotta indokoltnak az 500 mm-nél nagyobb talaj feletti magasságot, mivel a magasság növelésével a szélhatás és a porképződés növekszik, a magasabb rakfelület miatt a feltöltésre fordított energia nő. Vizsgálatai szerint a röpítőtárcsa

talaj feletti magasságának 500 mm-ről 750 mm-re növelésével a szórászélesség mindössze 10%-kal növekedett. Ez a növekedés aprószemcsés műtrágyánál még csekélyebb volt.

### **A röpitőtárcsa fordulatszáma, kerületi sebessége**

A kívánt hajítási távolság elérése érdekében a röpitőtárcsát, illetve a tárcsára szerelt lapátokat megfelelő kerületi sebességgel kell üzemeltetni. A kedvezőtlen kerületi sebesség megítélésében a gépek fejlesztése során jelentős változások tapasztalhatók.

A röpitőtárcsás szórószerkezetek fejlesztésének kezdeti szakaszában úgy ítélték meg, hogy a kerületi sebesség növelésével a szórás egyenlőtlenség nő. Ekkor az ajánlott kerületi sebesség 15-20 m/s volt (Oehring, 1966).

Rumjancev (1971), 400 mm átmérőjű tárcsa esetén 500-700 1/min fordulatszámot javasolt, mely 10,46-14,65 m/s kerületi sebességnek felel meg.

Az Egyesült Államokban végzett vizsgálatok (1973) során megállapították, hogy a nagy fordulatszámmal üzemeltetett röpitőtárcsák szemcsesérülést eredményeznek. A sérült szemcsék tárcsa közelében esnek le, ezzel csökkentik a munkaszélességet. Kedvező fordulatszám tartományként, 600 mm átmérőjű tárcsánál 500-650 1/min-t javasoltak, mely 15,7 - 20,41 m/s kerületi sebességet jelent.

A javasolt kerületi sebességekkel azonban nem lehet a munkaszélességet a kívánt mértékben növelni. Ezért a gépfejlesztések során a kerületi sebesség értékek fokozatosan emelkedtek. Buczolics-Király (1970), vizsgálatai során 22 - 25 m/s kerületi sebességet alkalmazott. Kaifás (1975), által beállított legnagyobb kerületi sebesség is meghaladta a 20 m/s-ot.

Demes (1977 a), vizsgálatai során alkalmazott legnagyobb kerületi sebesség 34,9 m/s volt. Véleménye szerint a hagyományos röpitőtárcsák kerületi sebességét 27 m/s-ig célszerű növelni.

Csizmazia (1986 a), által alkalmazott legnagyobb kerületi sebesség 30 m/s. Fontos azonban tudni, hogy a nagyobb munkaszélességet (28, 36, 48 m) lényegében a lapátok hosszának, ezzel a kerületi sebességnek a növelésével érik el.

A munkaszélességet és a szórás egyenlőtlenséget jelentősen befolyásolja a röpitőtárcsák fordulatszám ingadozása (Mikes, 1969; Fuhrmann, 1978; Csizmazia, 1982). Hollmann-

Mathes, (1962) szerint, a röpítőtárcsa fordulatszám ingadozása módosítja a szórásszélességet, az eloszlást nem befolyásolja. Ez a kitétel azonban nem állja meg a helyét, mert a szórásszélesség változása a csatlakoztatás során feltétlenül a szórás egyenlőtlenség változást eredményez. A fordulatszám változást -mechanikus hajtás esetén- az erőgép motorjának a terhelés függvényében történő fordulatszám változása idézi elő. Kihat a röpítőtárcsa fordulatszámára a kardántengely szögsebesség változására is. Ezek kiküszöbölésére alkalmaztak hidraulikus hajtású röpítőtárcsákat.

Fuhrmann (1978) javasolta, hogy a röpítőtárcsa hajtásnál olyan vezérlési rendszert alkalmazzanak, mely elektromos úton jelzi a mindenkori fordulatszámot, és eltérés esetén azt korrigálja.

### **A röpítőtárcsán alkalmazott szórólapátok**

A röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek fejlesztése során a szórólapátok száma, alakja, beállítása sokat változott. Ez is bizonyítja, hogy ezek a tényezők lényeges hatással vannak mind a munkaszélességre, mind a szórás egyenlőtlenségre.

A lapátok számát részben a műtrágyaáram nagysága, részben a szórási szög figyelembe vételével célszerű meghatározni. Ideális állapotnak az tekinthető, ha a műtrágya a tárcsa és a lapátok felületén egy rétegben mozog. Többrétegű mozgásnál a felületen történő súrlódást a műtrágya belső súrlódása váltja fel. Mivel a belső súrlódási tényező lényegesen nagyobb, mint a felületen történő súrlódási tényező, a lapát menti sebesség és ezzel a munkaszélesség csökken (Polyák-Csizmazia, 2003).

A műtrágyaáram növelésével az egyrétegű mozgást csak a lapátszám növelésével lehet biztosítani. A fordulatszám növelése itt nem segít, mert azzal növekedhet a munkaszélesség, és így a területegységre jutó műtrágya mennyiség biztosításához a garaton időegység alatt átáramlott műtrágya mennyiséget növelni kell (Dobler-Flatow, 1968).

Kusilkin (1966) a garatterhelést figyelembe véve, 3 kg/s műtrágya tömeg alatt 2, felette 4 lapát alkalmazását javasolja. A lapátszám további növelését azért nem tartja indokoltnak, mert a lapátszám növelésével csökken a szórási szög, és ezzel a szórás egyenlőtlenség nő. Vizsgálatokat végzett 600 mm átmérőjű röpítőtárcsa és 50 mm átmérőjű adagolónyílással, sugárirányú lapátozás mellett. A lapátszám és a szórási szög között az alábbi összefüggést találta:

Lapátszám:	8	6	4	3	2	1
$\gamma^\circ$	44,2	46,4	50,7	54,1	63,0	88,0

Egyben megállapította, hogy amíg a röpitőtárcsa átmérőjének megduplázása a szórás egyenlőtlenség 10,4%-os növekedését eredményezte, addig a lapátok számának 8-ról 2-re csökkentésével a szórás egyenlőtlenség 9%-kal csökkent.

Megállapítható tehát, hogy a műtrágya mennyiség a lapátszám növelését, a szórási szög növelése a lapátszám csökkenését igényli.

A lapátok alakja kezdetben sík volt, a lapát a röpitőtárcsa felületére merőleges lapból állt. A műtrágya szóródásának megakadályozása és a tömörebb műtrágyasugár biztosítása érdekében később a lapátok felső élét derékszögben behajlították (Z alakú lapát). A műtrágya kedvezőbb mozgásfeltételeinek biztosítására elterjedtek az ívelt (hengeres) kialakítású lapátok (Jedwabinski, 1967, Csunáre, 1969). Feltételezésük szerint a lapát belsejében keletkező műtrágyaörvénylés kedvezően hat az egyenletes eloszlásra.

A lapátok felületén végbemenő mozgásviszonyok fontosságára figyelt fel Irla (1976), amikor a lapátok elkészítését rozsdamentes acélból javasolta. Ezzel a lapát megoldással kedvező szórás egyenletességet értek el.

Csizmazia (1983) különböző hosszúságú (120 és 180 mm), alakú (Z, hengeres és csavart), kerületi sebességű (12,41-29,51 m/s) és beállítású (0°, 5°, 10°, 15° forgásirányban előre és hátra) szórólapáttal szerelt, különböző átmérőjű (400 és 500 mm) és szögű (0° - 6°-ig fokenként) röpitőtárcsával végzett kísérleteket, változó tárcsamagasság és adagolási hely mellett. Legkedvezőbb eredményt csavart lapátokkal ért el. A legnagyobb munkaszélesség (28 m) 25 %-kal volt nagyobb csavart lapáttal, mint a második legjobb hengeres lapátformával.

A legelterőbb vélemények a lapát beállítási szögét illetően találhatók. A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek fejlesztésének kezdeti szakaszán sugárirányú lapátozást alkalmaztak. A szórás egyenlőtlenség csökkentésére és a munkaszélesség növelésére irányuló kutatások során azonban megvizsgálták a sugárirányhoz képest szögbe állított lapátok jellemzőit is. Megállapították, hogy a lapátok beállítási szöge befolyásolja az együttfutási szög nagyságát.

Forgásirányban előrehajló (+) lapát beállításnál  $\gamma$  értéke nő, hátrahajló lapátoknál (-)  $\gamma$  csökken (Kusilkin, 1966; Brübach, 1973).

Külön vizsgálták a lapát beállítás hatását a munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre. Kusilkin (1966) megállapította, hogy a lapátok szögének  $-10^\circ$ -ról  $+10^\circ$ -ra történő módosításával, a szórás egyenlőtlenség 17%-kal csökkent. Kedvezőnek tartotta, ha az egymást követő lapátok szöge  $+10^\circ$ , illetve  $-10^\circ$ . Hasonló megállapítást tett Jedwabinski (1967), bár az egymást követő lapátok szögére tett javaslata nem teljesen egyezik a fentiekkel. Szerinte a legkedvezőbb lapát beállítás a  $+18^\circ$  és a  $0^\circ$ .

Csunáre (1969) szerint, a szórás egyenlőtlenség szempontjából a  $+15^\circ$  és  $+17^\circ$  közötti szögtartomány a legkedvezőbb, a legnagyobb munkaszélességet azonban 0 és  $-10^\circ$  közötti szögtartományban érte el. Vizsgálatai alapján ezért hajlított lapátot javasolt, mely  $+15^\circ$ ,  $+17^\circ$ -os lapát beállítással indul és  $-3^\circ$ -os beállítással fejeződik be. Ívelt lapátot javasoltak Cunningham *et al.*, (1965).

Dergacs-Puskar' (1971), azt tapasztalták, hogy előreálló (+) lapátozás esetén mind a munkaszélesség, mind a szórás egyenlőtlenség növekedett. Megállapításaik tehát az eddigiekkel ellentétesek. Az egymásnak gyakran ellentmondó vélemények oka, hogy a különböző szögbe állított lapátok különböző adagolási helyet igényelnek, melyet a vizsgálatok során nem vettek figyelembe.

Soleymangoly-Kasza (1997) számítógépes szimuláció segítségével vizsgálták a lapátok formáját, beállítási szögét sík tárcsa esetén, összefüggésben a különböző adagolási hellyel. A szimulációhoz mint bemenő alap adatokat a szemcse mozgásának irányát, a szemcse sebességét és a tárcsa felületén tartózkodás idejét alkalmazták. Emellett figyelembe vették a lapátok sugáriránnyal bezárt szögét és a műtrágyaszemcse súrlódási tényezőjét a röpitőtárcsa felületén. A szimulációval az adott feltételek mellett optimalizálták a lapátjellemzőket.

Csizmazia (1990) és Csizmazia-Kökuti (2001) megállapították, hogy a sugárirányhoz hátra állított lapátok csökkentik a munkaszélességet és a szórás egyenlőtlenséget egyaránt. Mivel a szórás egyenlőtlenség csökkenés nagyobb fokú, mint a munkaszélesség csökkenés, ezért a hátrahajló lapátok alkalmazása előnyös.

### 2.6.6. A műtrágya mozgása a röpitőtárcsán

A műtrágyaszemcse mozgását a röpitőtárcsa felületén általában úgy vizsgálták, mintha a műtrágyaszórás egyedül mozgó műtrágyaszemcsék sokaságából állna. Pedig a műtrágyaszemcsék jelentős hatással vannak egymásra és mozgásukat számtalan olyan tényező is befolyásolja, melyeket az elméleti számításoknál figyelmen kívül hagytak. A műtrágyaszemcsék a megfigyelések szerint nem tisztán gördülő vagy csúszó mozgást végeznek, hanem ezek a mozgásformák felváltva jelentkeznek a szemcse haladása közben. A műtrágya mennyiség függvényében különböző vastagságú anyagáram alakul ki a röpitőtárcsa, majd a lapátok felületén. A műtrágyaszemcsék egy része a többi szemcsétől körülzártan sodródik a tárcsa vagy a lapát felületén. Heterogén szemcseeloszlású műtrágyánál a kisebb szemcsék mozgása általában ilyen jellegű (Doganovszkij *et al.*, 1968). A többrétegű műtrágyaáram a gördülő mozgást szinte teljesen megakadályozza, és a csúszó mozgás dominál. A műtrágyaáram előnyös tulajdonsággal is rendelkezik, miután csökkenti a műtrágyaszemcsék pattogását a tárcsa, illetve a lapát felületén. A pattogó műtrágyaszemcsék ugyanis nem érintkeznek megfelelően sem a tárcsával, sem a lapáttal, így nem kapják meg a kellő indítási sebességet, és a tárcsa közelében hullnak le, ezzel csökken a gép munkaszélessége.

Hasonló probléma lép fel akkor, ha a lapátok körzetében jelentős légörvénylés keletkezik. Ez megakadályozza a szemcsék lapáthoz simulását és kellő kirepítési sebesség híján a keresztirányú szórás kép közepén rakódnak le (Dobler-Flatow, 1969).

A műtrágyaszemcsék gördülő mozgásának akkor van nagy esélye, ha a szemcsék szabályos gömb alakúak, és ha a szögsebesség és a radiális-sebesség közel egyenlő. Szabálytalan alakú szemcsék a lapátok felületén az egész utat általában csúszó mozgással teszik meg (Brinsfield-Hummel, 1975).

Tül'nüj (1978) kifogásolta, hogy az elméleti számításoknál a röpitőtárcsát, mint nyugalomban lévő tengely körül forgó rendszert veszik figyelembe, holott a gép munka közben halad. Az ideális állapothoz képest az eltérés a sebesség fokozódásával nő, ennek következtében 10-30% hiba keletkezhet a számításokban. Meg kell jegyezni, hogy a hiba a röpitőtárcsa fordulatszámának növekedésével csökken.

A műtrágyaáram változtatásának hatásával kapcsolatban is találhatók ellentétes vélemények. Egyrészt felvetődik, hogy a műtrágyaáram növelésével torlódik a műtrágya a lapátok

felületén, ami csökkenti a munkaszélességet, más vélemény szerint a műtrágya mennyiség növelésével nő a munkaszélesség (Rjadnüh, 1965).

Dobler-Flatow (1969) szerint a műtrágya mennyiség növelésével a műtrágyaszemcsék a lapát felületén feltorlódnak, a különböző rétegek mozgásviszonyai megváltoznak, ezáltal az egyes rétegek együttfutási szöge is különböző lesz, mely végül is a szórási szög növekedését és ezzel a szórás egyenlőtlenség csökkenését is eredményezi.

Jedwabinski (1967) a röpitőtárcsákról lerepülő műtrágyaáram tömörségének előnyére hívta fel a figyelmet. Megállapította, hogy minél tömörebb ez az anyagáram, annál kisebb a szórás egyenlőtlenség és a kisebb részecskék anyagárammal való együttmozgása a munkaszélességet is növeli. Az anyagáram tömörsége a lapátok megfelelő kialakításával érhető el.

A műtrágyaszemcsék mozgását jelentősen befolyásolja a röpitőtárcsán, illetve a lapátok felületén való súrlódásuk. A súrlódási tényező növekedésével ugyanis nő az együttfutási szög, vagyis a műtrágya tárcsán tartózkodásának ideje (Brübach, 1973).

A súrlódási tényező növekedésével a kirepítés sebessége csökken, és a szórásszög növekszik (Dobler-Flatow, 1969). Brinsfield-Hummel (1975) 600 mm átmérőjű röpitőtárcsával a tárcsaközépponttól 50 mm távolságra beállított adagolási hellyel vizsgálták a műtrágya súrlódása és a szórási szög közötti összefüggést. Amennyiben a súrlódási tényező 0,25-ről 0,45-re módosult, a szórási szög 28°-ot változott. Az adagolási hely tárcsaközépponthoz viszonyított eltolásával (200 mm), azonos súrlódási tényező változás, csak 6°-os szórásszög változást eredményezett. Ezzel kapcsolatban azt is megállapították, hogy a szórás egyenlőtlenség műtrágya minőségtől való függősége csökkenthető, ha az adagolási helyet a tárcsa széle felé tolják. Ebben az esetben csökken ugyan a kirepítési sebesség, ez azonban a tárcsa átmérőjének növelésével vagy a fordulatszám emelésével kiegyenlíthető.

A kirepítési sebesség nagyságát és irányát a kerületi sebesség és a lapát menti sebesség együttesen határozzák meg. A kerületi sebesség adott tárcsaátmérő és fordulatszám mellett állandó. A lapát menti sebesség több tényező függvénye, melyeket az előbbieken részben már érintettem. Növelhető a lapát menti sebesség a műtrágyaszemcsék méretének csökkentésével. Ezzel azonban nem érhető el munkaszélesség növekedés, mert a kisebb szemcsék a légellenállás hatására gyorsabban elvesztik sebességüket, és közelebb esnek le a tárcsához. A műtrágyaszemcsék méretének növelésével, valamint a műtrágya mennyiség

növelésével a lapát menti sebesség csökken. Ebből következik, hogy a nagyobb munkaszélesség érdekében a lapát menti sebesség növelése csak a műtrágya lapát menti mozgásfeltételeinek javításával lehetséges. A lapát menti sebesség növelésének korlátozott lehetőségei indokolják, hogy a kirepítési sebesség növelése érdekében a kerületi sebességet is növeljük. A kirepítési sebesség növelésével a közepes hajítási távolság növekedése mellett szélesebb lesz a beszórt gyűrű alakú terület, ami a munkaszélesség növekedését és a szórás egyenlőtlenség csökkenését eredményezi (Szkol'zjev-Csernovolov, 1969).

Meg kell azonban jegyezni, hogy a kerületi sebesség növelésével a röpítőtárcsák hajtásához szükséges teljesítmény fokozott mértékben növekszik. A műtrágya mennyiség növekedésével a teljesítményigény egyenes arányban nő (Rjadnüh, 1965).

Hofstee (1993) különböző tárcsa és lapátbeállítások mellett vizsgálta a műtrágyaszemcsék mozgását a röpítőtárcsa felületén és a levegőben egyaránt. Különös hangsúlyt helyezett a műtrágyaszemcsék fizikai jellemzőinek hatására. Meghatározta azokat a legfontosabb tárcsa és lapát paramétereket, amelyek hatással vannak a szemcsemozgásra. Egyenleteket állított fel a különböző lapátbeállítások hatására. Szimulációs modellt fejlesztett, amellyel vizsgálta a különböző lapátjellemzők, tárcsaszög, és súrlódási tényező hatását a szemcsemozgásra. A modell egyedi szemcsék mozgásán alapult. A hatásokat háromdimenziós ábrán mutatta be. Megállapította, hogy az előre állított lapátokkal szerelt röpítőtárcsák szórás egyenlőtlenségre érzékenyebbek, mint sugár irányban, vagy hátra állított lapátokkal. Megállapította továbbá, hogy az ívelt lapátokon a műtrágyaszemcsék kevesebb ideig tartózkodnak, mint az előre állított lapátokon, de hosszabb ideig, mint a sugárirányú, vagy a hátra állított lapátokon. A szemcsék lapát menti sebessége az ívelt lapátoknál nagyobb volt, mint az előre állított lapátoknál, de kisebb, mint a sugárirányú, vagy a hátra állított lapátoknál.

Aphale *et al.* (2003) vizsgálták a szemcsék mozgását a röpítőtárcsa felületén és a röpítőtárcsa elhagyása után. Modellt alkottak a tárcsán mozgó és a tárcsát elhagyó szemcsék mozgásának elemzésére. A vizsgálatoknál figyelmen kívül hagyták a szemcsék egymásra hatását. A modellben sík tárcsát és sugár irányú lapátokat vettek alapul. Feltételezték, hogy a szemcsék radiális sebessége a lapátokkal való találkozásnál nulla. Az analízist tisztán csúszó és tisztán gördülő mozgásra is elvégezték. Meghatározták a vizsgálatokhoz felhasznált műtrágyák fizikai jellemzőit (méret, méreteloszlás, alak, sűrűség, súrlódási tényező, légellenállási tényező). Kiszámították, és ábrákon bemutatták a szemcsék radiális sebességét különböző tárcsaparaméterek és súrlódási viszonyok mellett. Meghatározták a különböző műtrágyák

hajítási távolságát különböző tárcsaparaméterek és súrlódási viszonyok mellett. Összehasonlították a modell számítások eredményeit a kísérleti eredményekkel. Megállapították, hogy nagyobb tárcsafordulatszámnál kevésbé jelentkeznek a leválási sebesség különbségek. Úgy ítélik meg, hogy az alkalmazott modell jól használható a műtrágyaszemcsék hajítási távolságának meghatározására.

### **2.6.7. A műtrágyaszemcsék mozgása a levegőben**

A műtrágyaszemcsék levegőben való mozgásának törvényszerűségeit számos szerző kutatta. Pitt *et al.* (1982) és Griffis *et al.* (1983) vizsgálták azokat az erőket, amelyek a szemcsére a levegőben történő repülés közben hatnak. Megállapították, hogy a légellenállási tényezőre ( $K$ ) az ellenállási tényező ( $C_D$ ), és a levegő sűrűsége ( $\rho_a$ ) egyenes arányban, a szemcse mérete ( $d$ ) és a szemcse sűrűsége ( $\rho_p$ ) fordított arányban hat. Egyenleteket adtak meg a légellenállási tényező kiszámításához, és megállapították, hogy a szemcse méretének, tömegének mérésével és a lebegtetési sebességének meghatározásával a légellenállási tényező számítható.

Soós *et al.* (1997) műtrágyaszemcsék, vetőmagvak és kontrollként acélgolyó légellenállási tényezőjét és hajítási távolságát határozták meg a ballisztika összefüggései alapján a légellenállás figyelembe vételével és anélkül, vízszintes és ferde hajítással. Kidolgozták a vízszintes hajításra vonatkozó elméleti összefüggéseket, megrajzolták egy szemcse hodográfját és a szemcsék pályagörbéit.

Csizmazia *et al.* (2000) a szemcsék lebegtetési sebességének meghatározásához függőleges légcsatornát fejlesztettek. Meghatározták különböző vetőmagvak és műtrágyaszemcsék lebegtetési sebességét és ennek segítségével légellenállási tényezőjét Csizmazia-Polyák (2001). A hazánkban leggyakrabban használt műtrágyák lebegtetési sebessége a műtrágyák fizikai jellemzői fejezetben megtalálhatók.

Gindert-Kele (2003 a, b) a röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek keresztirányú szórásképének jóslását végezte el ballisztikus probléma megoldásával NPK 15-15-15 és pétisó műtrágyákkal. 250 elemszámú minta esetén meghatározta a műtrágyaszemcsék három egymásra merőleges méretét, gömbalakúságát, tömegét, átlagos sűrűségét, lebegtetési sebességét, légellenállási tényezőjét. Kiszámította a szemcsék hodográfját. A ferde hajítás figyelembevételével számított pályagörbékből meghatározta a röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek álló helyzetében szórás közben kialakuló szórásgyűrű sugárirányú metszetét, majd ennek elforgatásával a keresztirányú szórásképet.

## **Az üzemeltetési jellemzőinek hatása a szórás egyenlőtlenségre**

A műtrágyák jellemzői, valamint a műtrágyaszóró gépek szerkezeti megoldásai mellett a szórás egyenlőtlenséget befolyásoló fontos tényező a gépek szakszerű üzemeltetése (Hannusch, 1989). Ehhez meg kell teremteni a személyi és tárgyi feltételeket egyaránt. A nagyobb munkaszélességre, a pontosabb szórásra való törekvés egyre bonyolultabb, gondosabb kezelést igénylő műtrágyaszóró gépek kifejlesztését eredményezte. A gépeket megfelelően csak kellő szakismerettel rendelkező szakember tudja kezelni. Az eredményes üzemeltetés további feltétele, hogy a műtrágyaszóró géphez rendelkezésre álljanak azok a beállítási adatok, melyek a különböző műtrágyához és műtrágya mennyiséghez pontos útmutatást adnak (adagolási hely, adagoló állás, munkaszélesség).

Angliában -műtrágyaszóró gépek összehasonlítása során- már 1965-ben felhívták a figyelmet arra, hogy a műtrágyaszóró gépeket gyártó vállalatok az összes beállítási adattal rendelkező kezelési utasítást mellékeljenek a gépekhez, amely mindig a gép kezelőjénél legyen.

A beállítási adatok azonban csak az új gépekre és meghatározott jellemzőkkel rendelkező műtrágyákra érvényesek. Tekintettel arra, hogy a gépek elhasználódása során a beállítási adatokhoz képest változnak a gépek tényleges jellemzői, elengedhetetlen a gépek munka előtti beállítása (Mellin, 1975). A gépek gyártásánál célszerű biztosítani a gépek üzem előtti beállitásánál elengedhetetlen leforgatás lehetőségét.

Az Egyesült Államokban (1973) végzett műtrágyaszóró gépvizsgálatok alapján hangsúlyozták a gépek rendszeres karbantartásának fontosságát és az időnkénti újra hitelesítés szükségességét.

A jól beállított műtrágyaszóró gépnél is keletkezhetnek üzemeltetési hibák, ha az üzemeltetés feltételei nincsenek biztosítva. Elia (1966) figyelmeztetett arra, hogy a rosszul előkészített, egyenetlen talajfelszínen nem lehet egyenletes műtrágyaszórást biztosítani, mert a rázkódás hatására fellépő műtrágya tömörödés és ennek következtében az adagolás egyenlőtlenség növekedése a hosszirányú, a gép helyzetének állandó változása pedig, a keresztirányú szórás egyenlőtlenséget növeli. Hasonló hiba keletkezhet, ha a műtrágyaszóró gép a műtrágyát kiszórás előbb hosszabb úton szállítja és a tartályba egyenlőtlenül tömörödött műtrágya részben egyenlőtlen adagolást, részben különböző technológiai hibákat okoz. A táblaszéli feltöltés ezeket a hibákat megszüntetheti és a gép kihasználása, terület teljesítményének növelése szempontjából is kedvező.

Az egyenetlen szórás oka lehet a terepviszonyokhoz helytelenül megválasztott, túlzott sebesség, mely a munkaminőség romlásán túl a műtrágyaszóró gép indokolatlan igénybevételét, idő előtti elhasználódását idézheti elő (Cera-Bizotto, 1978).

Hensel (2003) képfeldolgozás alapján javasolja a röpitótárcsás műtrágyaszóró gépek szórás képét szántóföldi körülmények között ellenőrizni. Kísérletei során a műtrágyaszóró gépet az erőgép elejére függesztve üzemeltette, az erőgép hátuljára keretet erősített, amely a teljes szórás szélességben kamerával tudta ellenőrizni a műtrágyaszemcsék talajon történő elhelyezkedését. Megállapította, hogy a szemcsék felismerése szabad talajfelszínen, vagy a növények három leveles stádiumáig 90-100 % közötti. Amikor a vegetáció előre haladt állapotban van, a fedettség csökkenti a felismerhetőséget. A csökkenés lineáris és lecsökkenhet 40 % alá is. A módszert ennek ellenére hatásosnak jelöli a szerző. A rendszer nagy előnye, hogy az ellenőrzést szántóföldön, szórás közben lehet elvégezni.

### **A fogáscsatlakoztatási hiba hatása a szórás egyenlőtlenségre**

Az üzemeltetési hibák közül a legjelentősebb a gép munkaszélességének helytelen megítélése, a fogáscsatlakoztatás pontatlansága. A munkaszélesség helytelen megítélése származhat az adott műtrágyához tartozó munkaszélesség ismeretének hiányából, vagy az ismert munkaszélesség szórás közbeni helytelen megbecsüléséből. A helyes átfedés, és ezzel a megfelelő csatlakoztatás mértékét szórás közben becsléssel meghatározni nem lehet. A munkaszélességet tehát ismerni kell, és azt be kell tartani. A szemre történő csatlakoztatásnál az optimálistól általában a nagyobb munkaszélességek irányába történik az eltérés, mert a röpitótárcsás műtrágyaszóró gépeknél például az átfedés mértéke gyakran eléri az 50-110%-os mértéket (Davis, 1971).

Az optimális munkaszélességtől való megengedhető eltérés mértékét illetően vannak véleménykülönbségek. Moberg *et al.* (1969) megállapították, hogy az optimális munkaszélességtől való 1 m-es eltérés már jelentős mértékben rontja a gép szórás egyenlőtlenségét, pedig az 1 m-en belüli csatlakoztatási pontosságot nehéz tartani. Ezt nehezíti az is, hogy a műtrágyaáram változtatásával mind a szórás szélesség, mind a munkaszélesség változik és a helyes átfedés mértékét, a műtrágyaáram módosulásának függvényében kellene változtatni.

Megegyezik a vélemény abban, hogy a munkaszélességet csak a pontos csatlakoztatást segítő nyomjelző berendezések valamelyikével lehet betartani. Egyéb segédeszköz híján a jelző vagy

a táblaszéli kitűzés alkalmazása is megoldás (Kaplan, 1977). Véleménye szerint a gépek szórás egyenlőtlenségét ezzel a módszerrel 10%-on belül lehet tartani.

A műtrágyaszóró gépek pontos csatlakoztatására használható a permetezőgépekhez kifejlesztett habjelző berendezés (Fuhrmann, 1978). Szerinte a csatlakoztatási hibákat 50%-kal lehet csökkenteni ezzel a módszerrel. A habjelző hazánkban a kerettel szerelt növényvédő gépeknél sem bizonyult megfelelőnek. A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépeknél pedig –keret hiányában - egyáltalán nem alkalmazható.

Csernikov (1978) tükrös csatlakoztató berendezést javasolt, mert tapasztalata szerint ezzel a módszerrel kétszer olyan pontosan lehet vezetni a műtrágyaszóró gépet, mint nélküle. Elképzelhetőnek tartja a tábla előzetes bejelölését is a pontos csatlakoztatás érdekében.

Az Angliai Gépesítési Intézet (NIAE) különböző nyomjelző berendezéseket vizsgált és ajánlott (1979) a műtrágyaszóró gépekhez. A habjelző berendezést tükrös nyomkereső kiegészítésével javasolta alkalmazni. Megoldhatónak tartotta, hogy a nyomkeresőt a habpamacsok fölött fényérzékelő cellák vezessék.

Az angol Pye cég ipari TV kamerát erősített a keret végére és a vezető a fülkében monitoron figyelhette a habpamacsok és ezzel a vezetés pontosságát.

Ugyancsak javasolták a tábla szélén akkumulátorral üzemeltetett jelző kocsit, melybe a csatlakoztatási távolságokat be lehet programozni. A kocsit irányítása a traktor vezetőfülkéjéből rádióadó segítségével történik. A jelző kocsit minden jeladásra egy fordulónak megfelelő szélességgel halad tovább. Alkalmazásának feltétele a sima terep.

Saidl (1977) a traktor kereke által vezérelt, -a megtett utat jelző- műszert javasolt, mely forduláskor, a fordulási sugarat is figyelembe véve, pontos csatlakoztatást biztosít.

A javasolt sokféle megoldás a téma fontosságára utal. Alkalmazásukat azonban különböző nehézségek akadályozzák.

A sűrűsorban vetett növényeknél jelenleg javasolható leghatásosabb módszer a pontos fogáscsatlakoztatásra a művelő utas rendszer. Alkalmazására Ausztriában már 1976-ban javaslatot tettek. A Német Szövetségi Köztársaságban, 1978-ban alkalmaztak művelő utas gabonatermesztést, mely biztosítja a műtrágyaszóró és növényvédő gépek pontos fogáscsatlakoztatását, emellett mind a tápanyag kijuttatás mind a növényvédelem optimális

időben történő elvégzését teszi lehetővé, az állomány károsítása nélkül. Angliában, 1979-ben javasolták a művelő utas gabonatermesztés alkalmazását. Előnyeiként a fentiekén túl a kettős növés kiküszöbölését, a kezelés nagyobb teljesítménnyel történő elvégzését, valamint a kezelések magasabb állomány melletti elvégzését említették.

A művelő út alkalmazása hozamnövekedést és a termés minőségének javulását eredményezte (Bruckhardt, 1980; Csizmazia, 1980 b). Megállapította, hogy a traktorvontatású műtrágyaszóró gépek számára 2 x 35 cm-es nyom, alacsonynyomású abronccsal szerelt tehergépkocsihoz 2 x 48 cm-es nyom kihagyása célszerű. Ez 18,4 m-es munkaszélességnél 5 % területkiesést jelent. Megengedhetőnek tartotta, hogy kora tavaszi kezelésnél a kerék szélessége a nyomszélességet meghaladja, az állomány növekedésével az alacsonynyomású kerekeket javasolta keskenyebb gumibroncsokkal felcserélni. A szántóföldi gépek teljesítménye, vizsgálatai szerint a művelő út alkalmazásával 8 %-kal nőtt. Hasonló megállapításokra jutott Heymann (1980).

Schünke (1980) megállapította, hogy a művelő utas rendszerrel jól megszerkesztett röpítőtárcsás műtrágyaszóró géppel, jó műtrágyával és szakszerű üzemeltetéssel tartható az agrotechnikai igények szerinti szórás egyenlőtlenség.

Szükséges megjegyezni, hogy a fenti csatlakoztatást segítő módszerek csak szimmetrikus szórásképpel rendelkező műtrágyaszóró gépeknél biztosítanak megfelelő szórás egyenletességet. Az aszimmetrikus keresztirányú szórásképpel rendelkező műtrágyaszóró gépekhez ajánlották ugyan a körbeműveléses módszert (Johansson, 1977), de ennek gyakorlati megvalósítása nehézkes, ezért nem is alkalmazott módszer.

A művelő utas termesztési mód nyújtotta fogáscsatlakoztatási lehetőség mellett a 90-es évek második felében megjelentek a párhuzamosan vezető rendszerek (Csizmazia, 2003). A GPS (globális helyzet meghatározó rendszer) támogatta módszerrel elérhető a korábban igényként megfogalmazott 10-15 cm-es csatlakoztatási pontosság. A párhuzamosan vezető rendszer egy a GPS alkalmazások sorában. A rendszer lehetővé teszi, hogy a táblán felvett 2 bázispont alapján, a beállított munkaszélességnek megfelelően a gépcsoport a bázispontok által meghatározott iránnyal párhuzamosan haladjon. A jelenleg alkalmazott rendszer az optimális iránytól való eltérést fénysávval (led sor) jelezheti. A rendszer érzékenysége szabályozható, így állítható, hogy a két egymás melletti fényforrás milyen valóságos eltérést jelent (pl. 8

vagy 16 cm egy led távolság). A kezelés közbeni hibát természetesen befolyásolja az erőgép választott sebessége is.

Egy vizsgálat során összehasonlították a habjelzés, az 1 m-nél kisebb pontosságú és a centiméter pontosságú párhuzamosan vezető rendszer alkalmazásával adódó csatlakoztatási hibát 10-14 km/h sebesség esetén. Habjelzővel átlagosan 1,61 m, egy méter alatti pontosságú párhuzamosan vezetővel 0,57 cm, míg centiméter pontosságra beállított párhuzamosan vezető rendszerrel 0,23 cm átlagos csatlakoztatási hibát kaptak. A vizsgálatok szerint elsősorban a túlfedés volt a jellemző.

A párhuzamosan vezető rendszerrel elérhető vezetési pontosság és ezzel a felesleges átfedések okozta többlet műtrágya felhasználás elmaradása következtében, a rendszer bevezetésének költsége néhány kezelés után megtérül, tehát a megtérülési idő egy éven belüli. Nem beszélve arról, hogy a rendszer alkalmazásának begyakorlásával a pontosság javítható. Érdemes megemlíteni azt is, hogy az alkalmazott technikában potenciálisan benne van az automatikus kormányzás lehetősége is, bár ennek költsége már tetemes. Külön hangsúlyozni kell, hogy a párhuzamosan vezető rendszer működése látási viszonyoktól független, sőtétben ép úgy biztonságos irányítást tesz lehetővé, mint ködben. Alkalmazásával kiterjeszhető tehát a kezelés ideje.

Megállapítható tehát, hogy a műtrágyázás során megkívánt csatlakoztatási pontosságnak a művelő utas természetesi mód és a párhuzamosan vezető rendszer felel meg, hiszen e két rendszer képes a beállított munkaszélességet és ezzel a keresztirányú szórás egyenlőtlenség értékét a megengedhető eltérésen belül tartani.

### **Termőhely-specifikus tápanyag kijuttatás**

A megfelelő minőségű műtrágya, a korszerű gépkonstrukció és a szakszerű üzemeltetés csak egyik feltétele a hatékony műtrágya kijuttatásnak. A ma már hagyományosnak nevezhető, táblaszintű tápanyag kijuttatáshoz képest jelentős lépés a műtrágyák táblán belüli differenciált kijuttatása. Ehhez a feltételek a 90-es évek végén teremtődtek meg, bár már a 90-es évek elején megjelentek az ezzel kapcsolatos irodalmi források (Finke, 1992). A növények tápanyagigényéhez alkalmazkodó, az adott táblára vonatkozó vizsgálati eredmények ismeretében végrehajtott, környezetre nem káros, termőhely-specifikus trágyázási módnak számos előnye van. Csökken a műtrágya felhasználás, akár 11-16 %-kal is növelheti a fajlagos terméshozamot és javítja a termények minőségét (Fekete, 2000). Mindez azonban

csak akkor végezhető az elvárható szinten, ha az előzőekben tárgyalt műszaki és üzemeltetési feltételeket betartják. Ellenkező esetben a várt eredmény elmarad. Ezt azért szükséges hangsúlyozni, mert könnyen eshetünk abba a hibába, hogy egy korszerű technika (pl. GPS) alkalmazását mindenhatónak fogadjuk el, pedig az csak egyéb feltételek optimális együttthatása esetén lehet eredményes. Ezért fontos, hogy amikor korszerű tápanyag gazdálkodásról beszélünk, akkor komplexen kezeljük a kérdést, ne szűkítsük le egyik vagy másik technológiai elemre. Ugyanakkor a fenti elemek optimális együttthatása esetén biztonságosan számíthatunk a megcélzott terméseredmény és termésminőség elérésére.

A GPS használatára is alkalmas műtrágyaszóró gépek számos szolgáltatással rendelkeznek, és egyre pontosabban reagálnak a táblatérképek igényelte változásokra. Általában két paraméter módosítását tudják biztosítani, a két röpitőtárcsához tartozó adagoló nyílás szimmetrikus, vagy aszimmetrikus változtatását és esetenként a röpitőtárcsák egymáshoz viszonyított fordulatszámának a módosítását. E két változtatással, valamint ezek célszerű kombinációjával mind a differenciált műtrágya kijuttatás, mind a különböző szórásformák megvalósíthatók: normál szórás (bal és jobb tárcsa fordulatszáma egyforma), ékszórás, szélszórás és határszórás, mely a jobb és a bal tárcsa fordulatszámának célszerű beállításával érhető el. Az ékszórás a szabálytalan alakú táblák kezelésénél állandóan jelentkező igény, a szélszórás a vízfolyások, utak melletti szórásnál szükséges, a határszórás a szomszédos tábla melletti szórást jelenti. A műtrágya mennyiség csökkentését is jelenti, ha a géppel alkalmazkodni lehet az ilyen speciális feltételekhez. Hollandiában például 1992-től kötelezővé tették a műtrágyaszóró gépek szélszóró rendszerrel történő felszerelését (Hofstee, 1993).

A differenciált tápanyag kijuttatás megalapozásához számos megelőző műveletre van szükség (Pecze et al., 2001). A táblán belüli heterogenitás meghatározását célozza a mintavétel, amelyeknek hely specifikus megoldására kézi és gépi lehetőségek egyaránt vannak (Neményi et al., 2002 a). A minták gyakoriságát a tábla homogenitása és a költségek szabják meg. A talajminták elemzése számos hasznos információt nyújt, pl adatokat szolgáltat a talaj tápanyag szolgáltató képességéről. Szerencsés, ha a technológia alkalmazója többéves tapasztalattal rendelkezik a táblát illetően (Neményi et al., 2002/b). Hasznos információ nyerhető a hozamtérképek elkészítésével. Amennyiben a betakarító gépeket ellátták nedvességmérővel kombinált hozammérővel, akkor a tábla különböző részeihez a GPS segítségével hozam kapcsolható (Mesterházi et al., 2003, Mesterházi, 2004). Az így

szerzett alapinformációk segítségével digitalizált táblatérkép készíthető, és alkalmas műtrágyaszóró géppel, amely kapcsolható a DGPS terminálokhoz, a differenciált tápanyag kijuttatás megvalósítható.

Hangsúlyozni szükséges, hogy csak differenciáljellel érhető el az a pontosság, ami a technológiát alkalmassá teszi az inhomogenitások pontos és célszerű mértékű követésére. Ez a korszerű technika a fent részletezett egyéb feltételek birtokában csökkentheti a kijuttatott műtrágya mennyiségét, a pontos tápanyagellátás következtében azonban nagyobb hatása van a termés mennyiségére és minőségére. Mindezek alapján hosszabb távú elterjedését prognosztizálni lehet.

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A megelőző modellkísérletek eredményei, gépvizsgálatok tapasztalatai, valamint irodalmi ismeretek alapján kísérleti műtrágyaszóró gépet terveztem, melynek fő méretei a gyakorlatban alkalmazott műtrágyaszóró gépek méreteivel megegyeznek. A gép kialakítása lehetővé tette a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek munkaszélességét és szórás egyenlőtlenségét befolyásoló fontosabb jellemzők vizsgálatát és elemzését.

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

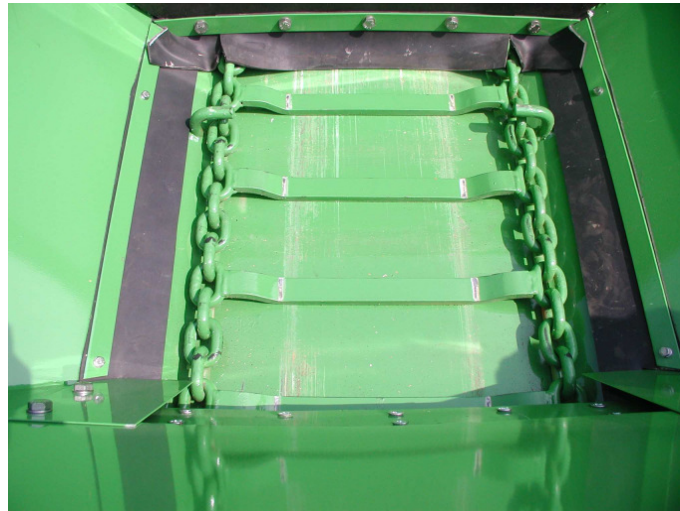
- az alkalmazott műtrágyák fizikai jellemzői
- az adagolás helyét a röpitőtárcsa felületén
- a műtrágyaáram nagyságát
- a szórólapátok számát
- a szórólapátok alakját
- a szórólapátok hosszát
- a szórólapátok sugáriránnyal bezárt szögét

#### A kísérleti gép (4. ábra) leírása

A kísérleti gépet úgy terveztem, hogy az mind a függesztett, mind a vontatott gépek modellezésére alkalmas legyen. A gép tartálya azonban csak a kísérletekhez szükséges műtrágya befogadására alkalmas térfogatú. A tartályból a műtrágyát lánc (5. ábra), illetve szalag (6. ábra) hordja ki, hogy a vontatott gépek adagolását modellezni lehessen. A két adagolószerkezet közötti különbség elsősorban a haladási irányú (hosszirányú) szórás egyenlőtlenség mértékében jelentkezik. A szalagos adagolószerkezet hosszirányú szórás egyenlőtlensége kisebb, ebből a szempontból kedvezőbb. A két kihordó szerkezetet alternatívaként célszerű megtartani, mert a gyakorlat jelenleg a megszokott láncos kihordót preferálja. A láncos kihordó adagolási ciklikusságát a fenéklemez háromszög alakú kivágásával (7. ábra) és a műtrágya megomlásából származó adagolási egyenlőtlenséget befolyásoló oszlató láncokkal lehet csökkenteni. Ez utóbbi elsősorban nagyobb adagoknál jelentkezik. A fenéklemez háromszög alakú kivágásának haladási irányba eső hossza megegyezik a kihordólánc osztásával, így a műtrágya folyamatosan áramlik az adagolószerkezetből.



**4. ábra. Függesztett, röpitőtárcsás kísérleti műtrágyaszóró gép**



**5. ábra. Láncos adagolószerkezet**



**6. ábra. Szalagos adagolószerkezet**



**7. ábra.** A fenéklemez kivágása az osztató láncokkal

A területegységre jutó műtrágya mennyisége résszabályozással változtatható. Az alkalmazott résszabályzó (**8. ábra**) a szokásos lánc- és szalagsebesség mellett max. 800-1000 kg/ha műtrágyamennyiség beállítását teszi lehetővé, amely a mai műtrágyamennyiség igények tükrében megfelelő.

Az adagolószerkezettől a műtrágya elosztószerkezethez jut (**9. ábra**), amely egyben az adagolási hely állítását is biztosítja. Az adagolótölcsérek előre-hátra és oldalra állítása tág határok között teszi lehetővé az adagolási hely állítását, amely a kísérletek szempontjából igen előnyös.

A mátrix rendszerű adagolási hely állítás (**10. ábra**) pontos azonosítást jelent és két skálával ellátott karral korrekt módon biztosítja a megismételhetőséget.



**8. ábra.** Résállító szerkezet a beállító skálával



**9. ábra.** *A műtrágyaelosztó szerkezet*



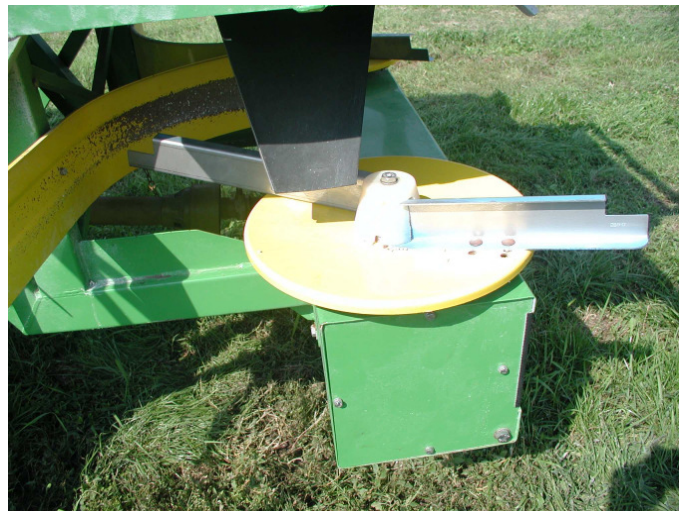
**10. ábra.** *A sokoldalú adagolási hely állítás*

Az adagoló tölcésrésekkel a műtrágya a röpitőtárcsán megfelelő helyre juttatható.

A kísérleti gép kéttárcsás szóró szerkezete kétlapátos (**11. ábra**) és háromlapátos (**12. ábra**) szórótárcsákkal szerelhető fel. A kétlapátos rendszerrel kisebb műtrágyamennyiség esetén kisebb szórás egyenlőtlenség érhető el. Nagyobb mennyiségű műtrágya kijuttatásánál, kevés lapát esetén ugyanis a műtrágya a lapátok felületén több rétegben mozog. A többretegű műtrágyaáram lecsökkenti a lapát menti sebességet és ezzel a gép munkaszélességét, hiszen a műtrágyák belső súrlódási tényezője mindig lényegesen nagyobb, mint a lapát felületén mért felületi súrlódási tényező. Ezért a korszerű gépeken kettő, legfeljebb három lapát alkalmazása indokolt.

A kisebb szórás egyenlőtlenség biztosítása érdekében ma már gyakran találkozunk azzal, hogy az alpműtrágyázó gépeken is kétlapátos tárcsákat alkalmaznak. Ez egyben azt is jelenti, hogy ezek az egyébként alpműtrágyázás céljára készült gépek átalakítás nélkül alkalmasak fejtrágyázásra is, ha a járószerkezet geometria ezt egyébként lehetővé teszi. A szóró szerkezetet három különböző hosszúságú lapáttal, valamint ezek kombinációjával szereltük fel (**13. ábra**), továbbá vizsgáltuk a lapátok tárcsa síkjához viszonyított dőlésszögét (**14. ábra**).

Vizsgáltuk továbbá a lapátok felületén a műtrágyaáram pályáját. Fontos megállapítás, hogy a műtrágya a lapát felületén nem a lapát hosszával párhuzamosan mozog, hanem a tárcsaszög miatt emelkedő pályán hagyja el a lapátot. Amennyiben az egyenletesebb műtrágya terítés érdekében a lapátvéget lépcsőzetesre készítjük, úgy a lépcső magasságát a lapát hosszúságának függvényében különböző méretűre kell választani.



**11. ábra. Kétlapátos szóró szerkezet**



**12. ábra. Háromlapátos szóró szerkezet**



**13. ábra. *Eltérő hosszúságú lapátok***



**14. ábra. *Eltérő hátdőlésű lapátok***

#### **A kísérleti gép műszaki és üzemeltetési adatai**

- |   |                     |
|---|---------------------|
| 1. A tartály mérete (kísérleti cél) :             | 400 dm <sup>3</sup> |
| 2. A kihordó lánc/szalag szélessége:              | 420 mm              |
| 3. A kihordó lánc/szalag sebessége:               |                     |
| lassú:  | 1,7 m/min           |
| gyors:  | 3,5 m/min           |
| 4. Adagolórés mérete:                             | 420 x 170 mm        |
| 5. A röpitőtárcsák száma:                         | 2 db.               |
| 6. A röpitőtárcsák átmérője:                      | 400 mm              |
| 7. A röpitőtárcsák fordulatszáma:                 | 840 1/min           |
| 8. A röpitőtárcsák tengelytávolsága:              | 900 mm              |
| 9. A röpitőtárcsák mérőfelület feletti magassága: | 700 mm              |

10. A szórólapátok száma:	3/2 db
11. A szórólapátok hossza:	300/350/400 mm
12. A szórólapátok magassága:	50 mm
13. A szórólapátok hátszöge:	90°/98°/106°
14. A szórólapátok sugáriránnyal bezárt szöge:	
A (hátra állított) helyzet:	40°
B (középre állított) helyzet:	35°
C (előre állított) helyzet:	30°
15. A lapát külső pontján mért kerületi sebesség A/B/C helyzetben:	
300 mm hosszú lapátnál:	28,84/29,10/29,28 m/s
350 mm hosszú lapátnál:	33,23/33,50/33,85 m/s
400 mm hosszú lapátnál:	37,63/37,98/38,25 m/s
16. A méréskor beállított haladási sebesség:	8 km/h

A kísérleti szórószerkezetet a traktor TLT hajtja. A vizsgálatok során alkalmazott, a röpítőtárcsa felületéhez viszonyított adagolási helyek pozícióit lásd később a **20. ábrán**.

### **A keresztirányú szórás egyenlőtlenség vizsgálatok**

A kísérleti műtrágyaszóró géppel a keresztirányú szórás egyenlőtlenség vizsgálatokat a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Kar Géptani Tanszékének mérőpályáján végeztem. Az alkalmazott szórószerkezet paramétereitől függően a pályát 42 m és 50 m közötti szélességgel alkalmaztuk (Csizmazia, 1989, 1993 a). (**15. ábra**).



**15. ábra. 50 m széles mérőpálya függesztett gépek vizsgálatához**

A vizsgálópályánál –a műtrágya talajról a tálcába pattogásának megakadályozása érdekében– a tálcasor a pálya szintjéhez képest emelt helyzetben (900 mm) helyezkedik el. Ugyanakkor meg kellett oldani, hogy a műtrágyaszóró gép az emelt tálcasor felett a kívánt beállítási magasságban áthaladhasson. E feltételek biztosítása érdekében a pálya fölé tolható konzolos tartószerkezetet alakítottunk ki, mely traktorral vontatható, és amely a műtrágyaszóró gépek csatlakoztatásához hárompont függesztő szerkezettel rendelkezik (**16. ábra**).



**16. ábra.** *A kísérleti gép pozíciójának beállítása a vizsgálathoz*

A vizsgált gép hajtása a traktor TLT-éről történik. Az egytengelyes kialakítású konzollal a vizsgált gép 3 méterrel tolható a mérő tálcasoron túl. Tekintettel arra, hogy a korszerű röpitőárcsás műtrágyaszóró gépek szóró szerkezetét úgy tervezik, hogy az előre ne szórjon, ezzel a módszerrel a gépek vizsgálata hiba nélkül elvégezhető. A kialakított kísérleti gép előnye, hogy függesztett gépként vizsgálható és a vizsgáló konzolra függeszthető (**17. ábra**).



**17. ábra.** *A kísérleti gép a mérőkonzolon*

A függesztett gépek vizsgálati módszere ugyanis pontosabb mérést tesz lehetővé, éppen a kiszórt műtrágyaszemcsék talajról való mérőtálcába pattogásának megakadályozása miatt.

A háromszori ismétléssel végzett mérés során a műtrágya a mérőtálcából mérődobozokba hull. A mérőtálcák csonka kúp alakja és oldalának meredeksége biztosítja, hogy a felfogott műtrágya maradéktalanul eljut a mérődobozokba. A mérődobozok összegyűjtése számolásuknak megfelelően történik (**18. ábra**) így a szórásképben elfoglalt pozíciójuk nem változik.



**18. ábra.** A mérődobozok összegyűjtése

A mérődobozok tartalmát 0,1 g pontossággal megmérjük, és a mért adatokat számítógépbe tápláljuk. A mérési adatok kiértékelését célszoftver biztosítja, amelynek segítségével számítógép határozza meg a szóró szerkezet legfontosabb munkaminőségi jellemzőit (a szoftvert Nagyné dr. Polyák Ilona a DE ATC AVK egyetemi docense készítette). Ezeket a jellemzőket nemzetközi szabvány rögzíti. A kiértékelés a mérés befejezése után percekben belül elvégezhető, így a gép az előző mérés eredménye alapján állítható be a következő méréshez, ezzel a mérés sokkal hatékonyabban végezhető. A műtrágyaszóró gépek keresztirányú szórás egyenlőtlenségének jellemzésére három értéket használunk, amelyeket az alábbi összefüggések segítségével határozzunk 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 ismétlés során egy mérőhelyen felfogott műtrágya mennyiségek átlaga;

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

$n$  a mérőhelyek száma.

$e_k$  megengedett értéke 10 %.

Variációs tényező (CV)

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

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, mely tartalmazza a fenti értékeket, a megkívánt átfedéssel bemutatott keresztirányú szórásképet, a különböző mértékű átfedéshez tartozó CV értékeket diagram formában és számadatokkal, valamint az adott méréshez tartozó beállítási adatokat.

### **A hosszirányú szórás egyenlőtlenség vizsgálatok**

A hosszirányú szórás egyenlőtlenségi mérésekhez a kísérleti gépet az üzemeltető erőgép függesztő szerkezetére szereltük, és az erre a célra alkalmazott mérőtálcákat a gép haladási irányával párhuzamosan két sorban helyeztük el. Egy sor tálcát a traktor középvonalába, egy sor a várható szórás kép egyik oldalának közepére került (**19. ábra**). A traktor szórás közben haladt át a tálcasor felett. A kiértékelés módja megegyezett a korábban ismertetettel.



**19. ábra. Hosszirányú szórás egyenlőtlenség mérés**

#### **A vizsgálatok során változó jellemzők**

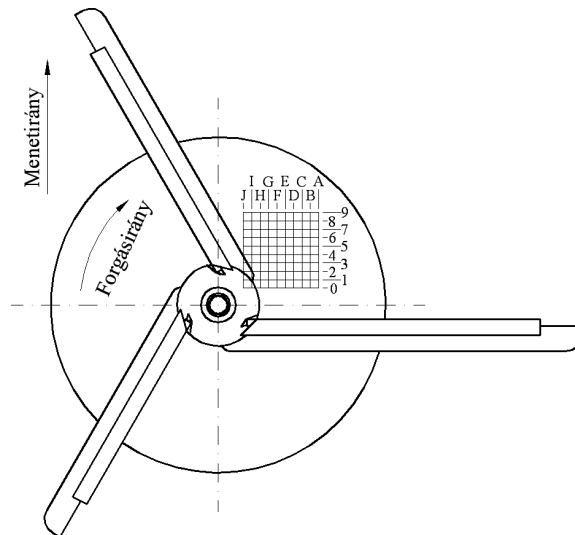
- az adagoló állása;
- az adagolási hely;
- a szórólapátok száma;
- a szórólapátok hossza;
- a szórólapátok sugáriránnyal bezárt szöge;
- a szórólapátok hátlapjának dőlésszöge.

#### **A vizsgálatok során változatlan jellemzők:**

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

#### **A beállítható adagolási helyek**

A kísérleti gép elosztó szerkezete lehetővé teszi az adagolási hely mátrix rendszerű állítását. Az adagolótölcsérek előre-hátra és jobbra-balra állíthatók abban a tartományban, amely a kísérletek szempontjából fontos.



**20. ábra.** A röpitőtárca felületéhez viszonyított adagolási helyek

A mátrix rendszerű adagolási hely állítás pontos azonosítást jelent, és két skálával ellátott karral korrekt módon biztosítja a megismételhetőséget. Az adagolási helyek röpitőtárcsához viszonyított állítási lehetőségeit a **20. ábra** mutatja.

A vizsgálatokhoz öt különböző fizikai jellemzőkkel bíró műtrágyát használtam. A műtrágyák főbb jellemzőit lásd a **3. táblázatban** (19.old).

A vizsgálatokhoz kapcsolódó magyar szabványt (MSz-05-10.0283:1991) az **1. melléklet** tartalmazza.

## 4. EREDMÉNYEK

A bevezetőben megfogalmazott céloknak megfelelően a kísérleti géppel végzett vizsgálatok alapján meg kívánom határozni a röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek munkaszélességét és szórás egyenlőtlenségét befolyásoló legfontosabb konstrukciós és üzemeltetési jellemzőket.

A fejlesztendő gépekkel kapcsolatos főbb elvárások:

1. Tartálytér fogat  $800/2000/4000 \text{ dm}^3$ ;
2. Kihordó szerkezet gravitációs/ szállító szalagos/ láncos;
3. Állítható adagolási hely;
4. 2 ill. 2/3 lapátos szóró szerkezet;
5. Legalább 24 m-es munkaszélesség;
6. A szabványban meghatározott munkaminőség biztosítása.

### 4.1. A tartály fontosabb paramétereinek meghatározása

A függesztett gépek fejlesztésénél két nagyságrendet célszerű figyelembe venni. Ebben a tekintetben a tartály méretének alsó határát a kisebb gazdaságok igénye, felső határát az alkalmazott erőgépek függesztő szerkezetének emelőképesége és az erőgép stabilitása határozza meg. A fenti szempontokat figyelembe véve nem célszerű  $800 \text{ dm}^3$ -nél kisebb tartályt alkalmazni, hiszen -a műtrágyák térfogattömegét is tekintve- ezzel a tartály nagysággal a gép, az általánosan alkalmazott könnyű univerzális traktorokkal is üzemeltethető. Felső határként  $2000 \text{ dm}^3$  célszerű célul kitűzni úgy, hogy az  $1500 \text{ dm}^3$  feletti tartály méretet toldatokkal lehet elérni. Ezzel a különböző erőgépekhez kapcsolás lehetősége biztosítható.

Vontatott gépek esetén  $4000 \text{ dm}^3$  tartály nagysággal elérhető, hogy a szokásos műtrágya adagokkal legalább 5 ha kezelhető.

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 készíteni, hogy magassága könnyű feltöltését biztosítson. A tartály szélességénél és oldalszögének meghatározásánál azonban 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 ( $38^\circ$ ).

A tartályok kialakításánál a megfelelő korrózióállóságot és szilárdságot biztosítani kell, ez utóbbi esetben a kisebb rátolatásokat is maradé deformáció mentesen kell a tartálynak elviselni.

A technológiai zavarok kivédése érdekében a tartályba 30 mm-nél nagyobb rögméretet kizáró, felhajtható és kiemelhető rács kerül. A tartály anyaga acéllemez, amely merevítő peremekkel, oldaltartókkal ellátott.

#### **4.2. Boltozódás gátló szerkezet**

A gravitációs adagolású függesztett gépek tartályába, a műtrágyaáram folyamatosságának biztosítása érdekében forgó, vagy lengő boltozódás gátló szerkezetet kell beépíteni. A műtrágya aprításának megakadályozása érdekében a boltozódás gátló szerkezet fordulatszám vagy lengésszáma ne érje el a 200 1/min értéket, és ne legyen éles felülete. A boltozódás gátló szerkezet az adagolónyílás közelében helyezkedjen el, mozgása során azonban az adagolórésen áramló műtrágya mozgását ne akadályozza.

#### **4.3. Kihordó szerkezet**

A vontatott gépek fekvő tartályainál a műtrágyát szállító szerkezettel kell az adagolórészhez juttatni. Alternatív megoldásként szállítószalag és lánc egyaránt szerepel kihordószerkezetként. A szállítószalag előnye, hogy a szállított anyag és a szalag sebessége nem tér el jelentősen, az anyag mozgása az adagoló szerkezeten át folyamatos, így a gép hosszirányú szórás egyenletessége kedvező. A szállítószalag nem aprítja a műtrágyát szállítás közben. Hátránya, hogy a nagy terhelés hatására megcsúszhat, rossz beállítás esetén, a szalag ferdén járhat, amely jelentős kopással és a szalag túlmelegedésével is járhat. A szalagok feszítését a szalag egyik végén található feszítőcsavar párral lehet elvégezni. Jóllehet a szállítószalagnak számos előnye van, a hazai gyakorlat a kaparóláncos szállítót helyezi előtérbe. A láncos szállító szemes láncra hegesztett kaparóelemekből áll. A szállított anyag sebessége ebben az esetben eltér, a lánc sebességétől, valamint a szállítás szakaszos annak ellenére, hogy a lánc hajtása folyamatos. A szakaszos szállításból adódó adagolás egyenlőtlenséget a fenéklemez speciális kiképzése csökkenti. Amennyiben az elosztószerkezetnél a fenéklemez „V” alakú kivágásának haladási irányba eső hossza megegyezik a kaparóelemek osztásával, a szállítás szakaszossága jelentősen csökken. A szállítószervezetek a karbantartás, javítás, csere könnyítése érdekében egy egységként a gépből kihúzhatók.

A kihordó szerkezet a hajtást járókerékről dörzskerék segítségével kapja. Ebben az esetben a jármű sebességváltozása a területegységre kijuttatott műtrágya mennyiséget nem befolyásolja. A kijuttatott műtrágya mennyiséget résszabályozással lehet állítani. A hosszirányú szórás egyenlőtlenség csökkentése érdekében a gyorsabb és keskenyebb szállító szerkezet és a kisebb adagolórés a kedvező. A nagy szállító szerkezet sebesség kis rés mellett ugyanakkor jelentősen terheli a tartály hátsó falát, valamint a 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 sebessége ( $v_{sz}$ ) az alábbi összefüggés segítségével határozható meg:

$$v_{sz} = \frac{Bv_h Q_n}{600ab\gamma} \text{ [m/min]} \quad [4]$$

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]
- $\gamma$  az alkalmazott műtrágya térfogattömege [kg/m<sup>3</sup>]

A tervezésnél az alábbi adatokat vetem figyelembe:

- A gép munkaszélessége:  $B=24$  m
- A műtrágyaszóró gép sebessége:  $v=8$  km/h
- Műtrágya mennyiség:  $Q=1000$  kg/ha
- A szállító szerkezet/adagolórés szélessége:  $a=420$  mm
- Az adagolórés legnagyobb magassága:  $b=170$  mm
- Az alkalmazott műtrágya térfogattömege:  $\gamma=1300$  kg/m<sup>-3</sup>)

$$v_{sz} = \frac{Bv_h Q_n}{600ab\gamma} = \frac{24 \cdot 8 \cdot 1000}{600 \cdot 0,42 \cdot 0,17 \cdot 1300} = 3,5 \text{ m/min}$$

A tervezés során lehet csökkenteni a szalag szélességét, ebben az esetben a szalag sebességét növelni kell. Nagyobb adagok kijuttatásához célszerű tehát 3,5 m/min szállító szerkezet sebességet választani. Ugyanakkor a feleslegesen nagymértékű hátsó tartályfal terhelést és a

szemcseaprítást elkerülendő célszerű legalább 20 mm-es kihordó résméretet tartani a kisebb adagmennyiségek esetén. A fejtrágyázás során általában alkalmazott legkisebb műtrágya mennyiség (50 kg/ha), valamint a hozzá tartozó résméret (0,02 m), figyelembevételével, a fenti számítás alapján a kisebb szállító szerkezet sebesség meghatározható:

$$v_{sz} = \frac{Bv_h Q_n}{600ab\gamma} = \frac{24.8.50}{600.0,42.0,02.1300} = 1,5 \text{ m/min}$$

A javasolt két láncsebesség tehát 1,5 és 3,5 m/min.

#### 4.4. Részállító szerkezet

A függesztett gépek gravitációs adagolását a tartály alsó részén kiképzett részállító 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 részállító szerkezet mozgatása a kisebb gépnél lehet kézi, a nagyobbban a vezető kabinból irányítható gépi mozgatású legyen.

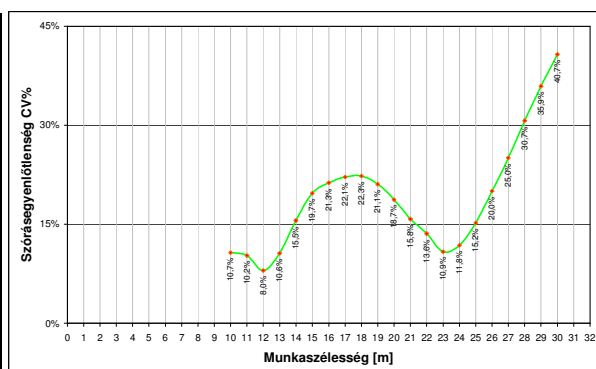
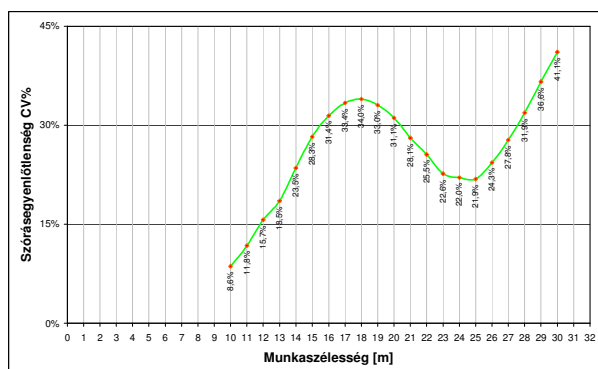
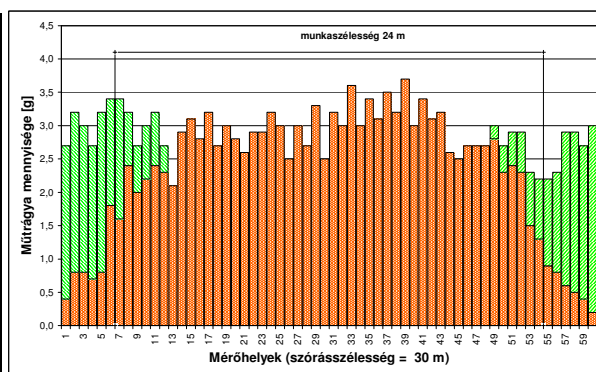
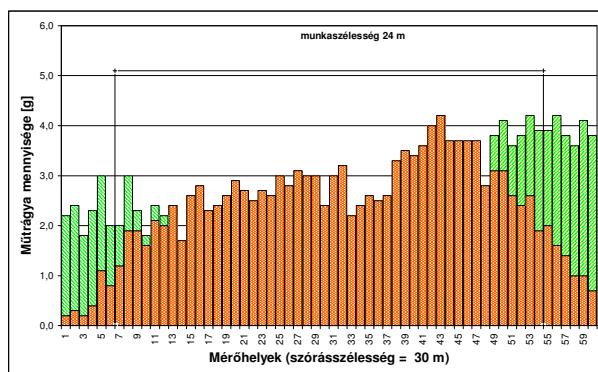
A vontatott gépnél a kihordó szerkezet által szállított műtrágya rétegvastagsága és ezzel az időegység alatt kiadagolt műtrágya mennyisége résszabályzó szerkezettel állítható. A résszabályzó kézi orsóval fel-le mozgatható tolózár, melyet kétoldalt vezetópálya tart párhuzamos helyzetben. A tolózár helyzetének meghatározását és ezzel a kívánt műtrágya mennyiség beállítását skála segíti. Az adagolórés legnagyobb mérete a fenti számítás alapjául vett 420/170 mm a legkisebb résméret értéke 20 mm.

A hely-specifikus tápanyag kijuttatás feltételének megteremtése érdekében alternatívaként megoldandó a részállító szerkezet villanymotoros mozgatása.

#### 4.5. Elosztó és adagolási hely állító szerkezet

Az egytárcsás gépeknél az adagoló szerkezeten keresztül jutott műtrágyaáram a röpítőtárcsa felületére jut. Az optimális keresztirányú szórás kép biztosításához a műtrágyát a röpítőtárcsa meghatározott felületére kell juttatni. Azt a pontot (keresztmetszetet), amelyre a műtrágyát juttatjuk, adagolási helynek nevezzük. Az adagolási hely -egyéb paraméterek (röpítőtárcsa fordulatszám, lapát alak, lapát hossz lapát felület, lapát beállítás, műtrágya fizikai jellemzők) mellett- meghatározza, hogy a műtrágya a haladási irányhoz képest milyen irányban és sebességgel jut ki a szóró szerkezetről. Az adagolási hellyel a szórás kép jellege (trapéz

formájú, vagy háromszög alakú) is változtatható. Szimmetrikus szóráskép csak az adagolási hely pontos beállításával érhető el. Ezért az egytárcsás gépeknél az adagolási hely állításának kiemelt jelentősége van. Az eltérő fizikai jellemzőkkel rendelkező műtrágyák szimmetrikus szórása csak úgy biztosítható, hogy a különböző műtrágyákhoz eltérő adagolási helyet kell beállítani. A kéttárcsás műtrágyaszóró gépeknél fontos, hogy az adagoló szerkezet pontos beállítása azonos műtrágyamennyiséget biztosítson a két tárcsára. Eltérő mennyiség esetén aszimmetrikus szóráskép keletkezik, ami megakadályozza a megkívánt keresztirányú szórás egyenletesség elérését (**21. és 22. ábra**). A két ábra változatlan beállítással üzemeltetett kísérleti gép eredménye (az alkalmazott műtrágya: kálisó, adagoló állás: 3, adagolási hely: D6, lapátok száma: 2, lapátbeállítás: B98°), azonban a 21. ábra 72,15 %-os, a 22. ábra 93,44 %-os szimmetriát takar. A szimmetria eltérés a 21. ábra esetén az adagoló szerkezet hibájából következett be. Az ábrák tanulmányozása alapján megállapítható, hogy jó beállítás mellett (**22. ábra**), 24 m munkaszélességnél, a keresztirányú szórás egyenlőtlenség értéke  $CV=11,8\%$ . Az aszimmetria következtében (**21. ábra**) a vizsgált munkaszélességnél (24 m), a CV érték 10,2 %-kal nőtt (22 %). A gépek fejlesztésénél, gyártásánál, beállításánál tehát fontos szempont a szimmetrikus adagolás biztosítása.



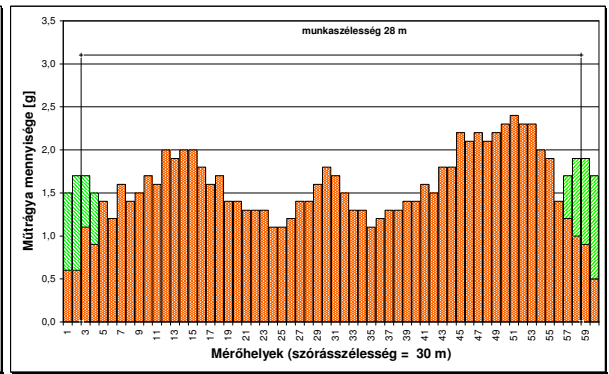
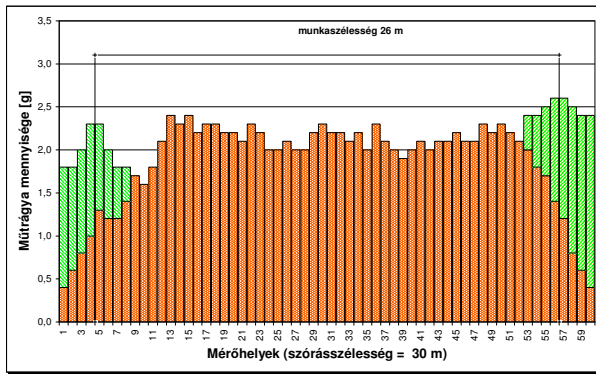
**21. ábra. Aszimmetrikus szóráskép**

**22. ábra. Szimmetrikus szóráskép**

A vontatott gépeknél a kihordó szerkezet sebessége és az adagolórés nagysága által meghatározott mennyiségű műtrágya az elosztó szerkezethez jut. A kéttárcsás szóró szerkezethez a műtrágyát pontosan kétfelé kell osztani. Csak ebben az esetben érhető el a szimmetrikus keresztirányú szórás kép, ami a megkívánt keresztirányú szórás egyenletességet kielégíti.

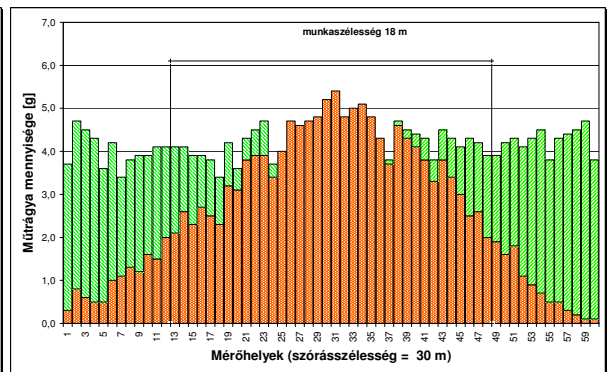
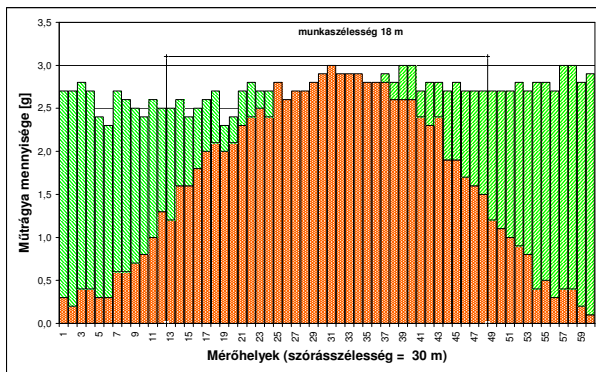
Az adagolási hely állítása lehetővé teszi, hogy a különböző fizikai jellemű műtrágyákkal is meghatározható legyen az az adagolási hely, amely esetén a két szórótárcsáról lelépő műtrágya optimális átfedéssel kedvező keresztirányú szórás képet biztosít. Az adagolási hely pontos beállítása alapvető fontosságú kérdés (**23 és 24. 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 %-kal nőtt a szórás egyenlőtlenség (CV=21,6 %), egyben a szórás kép szimmetria 83,54 %-ra csökkent. Megállapítható tehát, hogy a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek érzékenyen reagálnak az adagolási hely módosulására.

Az optimális adagolási hely megfelelő kísérleti háttérrel határozható meg. Az eltérő fizikai jellemzőkkel rendelkező műtrágyák eltérő adagolási helyet igényelnek. Tekintettel arra, hogy a hazánkban forgalmazott műtrágyák fizikai jellemzői jelentősen eltérnek egymástól, azok a gépek használhatók hatékonyan, amelyeknél mód van az adagolási hely állítására. Példaként ammóniumnitrát és kálisó műtrágyákkal végzett mérés eredményét mutatom be (**25. és 26. ábra**). A két műtrágyával végzett mérésnél 18 m munkaszélesség mellett jó összehasonlítás adódik, hiszen minden beállítás megegyezik, csupán az adagolási helyben van változás (az alkalmazott műtrágya: ammóniumnitrát/kálisó, adagoló állás: 3, adagolási hely: B4/C7, lapátok száma: 3, lapátbeállítás: A90°). Ahhoz tehát, hogy az eltérő fizikai jellemzőkkel bíró műtrágyákkal hasonló szórás képet, munkaszélességet érjünk el, az adagolási helyet jelentősen módosítani kellett.



23. ábra. Mérés B3 adagolási helyel

24. ábra. Mérés B2 adagolási helyel



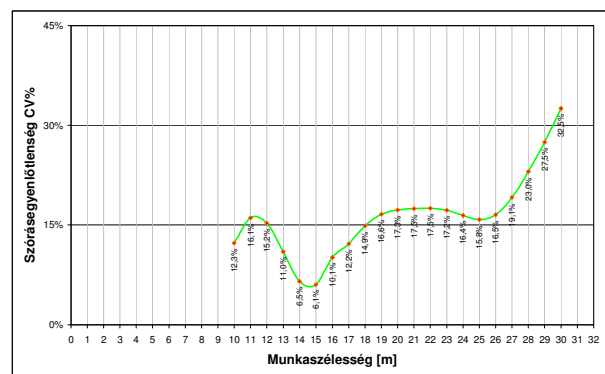
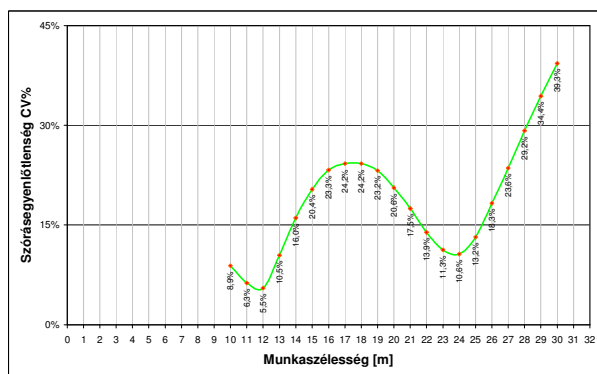
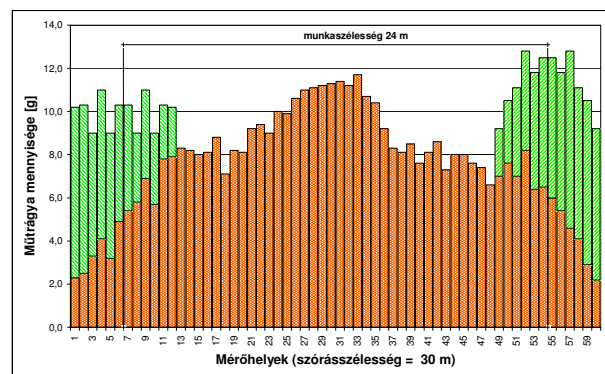
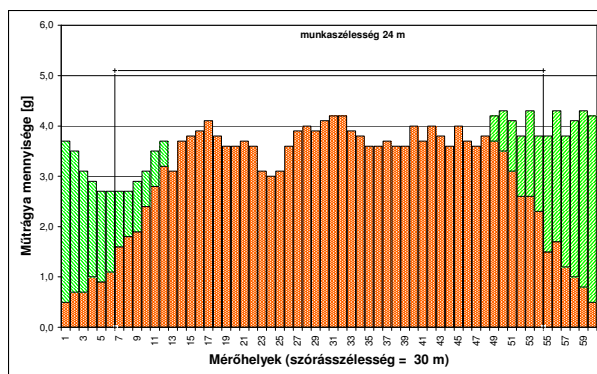
25. ábra. Ammóniumnitráttal végzett mérés

26. ábra. Kálisóval végzett mérés

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 rendkívül előnyös, mert pl. 18 m munkaszélesség mellett, a munkaszélességtől  $\pm 1$  m-es eltérés esetén sem romlik a munkaminőség jelentősen. Ugyanakkor az üzemeltető bármilyen kisebb munkaszélesség mellett használhatja a gépek kiváló munkaminőség mellett.

Módosítani kell az adagolási helyet akkor is, ha változtatjuk a kijuttatott műtrágya mennyiségét (27. és 28. ábra).



27. ábra. Mérés 6-os adagoló állással

28. ábra. Mérés 16-os adagoló állással

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 szórásképek teljesen megváltozott. A trapéz formájú szórásképek a háromszög alakú szórásképek irányába változott, és 24 m-es munkaszélességnél a CV érték 5,8 %-kal 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 röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek érzékenyen reagálnak az adagmennyiség változtatására, és az adagmennyiség módosítása mindig adagolási hely állítást igényel.

A 28. ábra más tanulsággal is járt. A szórás kép 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 hajítási 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.

A fentiek alapján megállapítható, hogy az adagolási hely jelentősen befolyásolja a gép munkaszélességét és szórás egyenlőtlenségét. Az adagolási hely állítása egy megfelelően állítható tölcserrel, illetve tölcser párral megoldható. Méréseink bizonyítják, hogy az adagolási hely kis mértékű állítása is lényeges változást eredményezhet a gép munkaszélességében és munkaminőségében.

#### 4.6. A szóró szerkezet

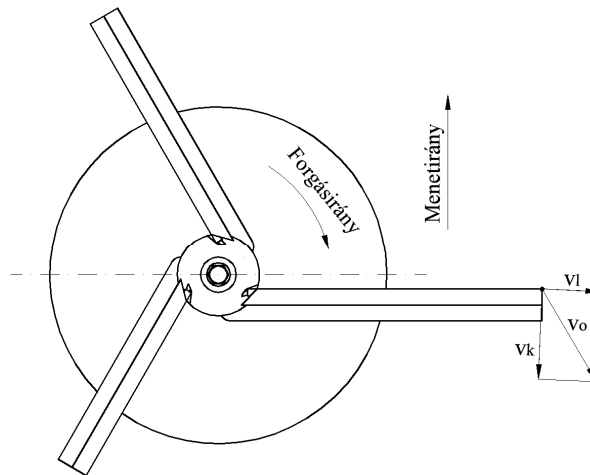
A szóró szerkezet legfontosabb paramétereinek meghatározása a szórólapát felületén mozgó műtrágyaszemcse mozgáseméleti kérdéseinek tanulmányozása, valamint gyakorlati gépvizsgálatok alapján történt. A tényezők meghatározásánál a munkaszélesség növelése volt a cél úgy, hogy a szórás egyenlőtlenség az 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 röpitőtárcsa talaj feletti magassága [m]
- $g$  – a nehézségi gyorsulás [m/s<sup>2</sup>]

A röpítőtárcsa 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 (**29. ábra**). Ebben az esetben a leválási pont a lapát végén helyezkedik el. Ezt a gép szórásszélességének meghatározásánál figyelembe kell venni.



**29. ábra. A műtrágyaszemcse leválási jellemzői**

Ennek megfelelően a gép szórásszélessége ( $S_z$ ) légüres térben:

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

ahol :

- $a$  – a két röpítőtárcsa 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:

- $\kappa$  - a szemcse alakú tényezője;
- $A$  - a szemcse áramlási irányra merőleges legnagyobb keresztmetszete [m<sup>2</sup>];
- $\rho_l$  - a levegő sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>];
- $v$  - 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 [ $\text{m}^3$ ];
- $\rho_a$  - a szemcse sűrűsége [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

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 [ $\text{m}$ ].

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. Soós *et al.* (1997) szerint  $\sim 50$  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%-os is lehet. Fontos tehát megvizsgálni a ható tényezőket, ha ilyen kedvezőtlen feltételek mellett nagy munkaszélességet kívánunk elérni:

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 alakj jellemzője „ $\kappa$ ”, 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 ( $\rho_a$ ) szemcsékkal érhető el nagyobb szórásszélesség.

Összességében megállapítható tehát, hogy a szórásszélességet a leválási sebesség ( $v_0$ ), a szemcsék mérete ( $d$ ) és sűrűsége ( $\rho_a$ ) befolyásolja döntően. A műtrágyaszemcsék jellemzői gyártástechnológiai kérdés, bár az üzemeltető is hatással lehet rá az adott műtrágyák közül a megfelelő kiválasztásával. A gép konstrukciós kérdései 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 műtrágyaszemcsére 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]

–  $\omega$  – 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]

$\mu_1$  – a műtrágyaszemcse és a lapát közötti súrlódási tényező

$G$  – a műtrágyaszemcse súlya [N]

$\mu_2$  – 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 röpítőtárcsa szögsebességének és a lapátok hosszának növelésével lehetséges.

2. *A coriolis erő okozta súrlódási erő csökkentésével*

A lapátmenti sebesség ( $r'$ ) és  $\omega$  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 röpítőtárcsa felületével hegyes szöget bezáró lapát felülettel, részben a lapátok forgásirányban hátra történő állításával biztosítható. Mindkét eset elősegíti a gördüléssel mozgás kialakulását a lapát felületén.

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

Csökkentése a röpítőtárcsa/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.

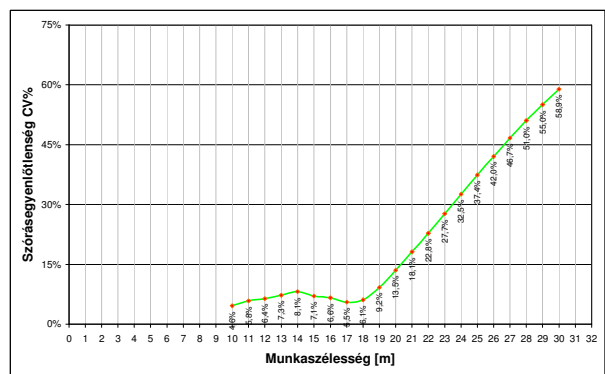
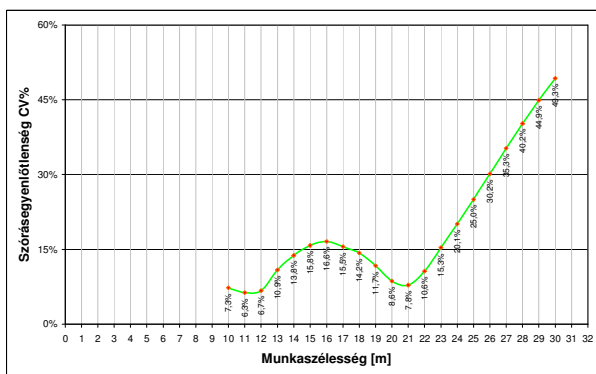
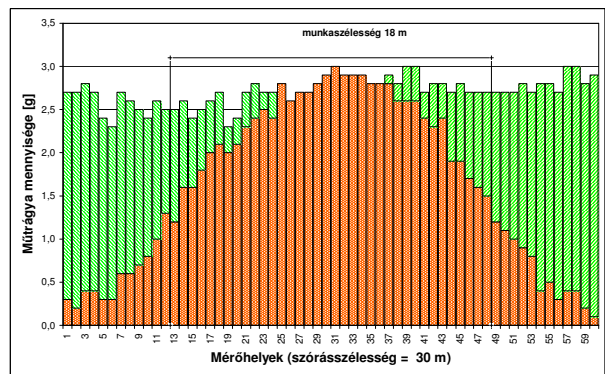
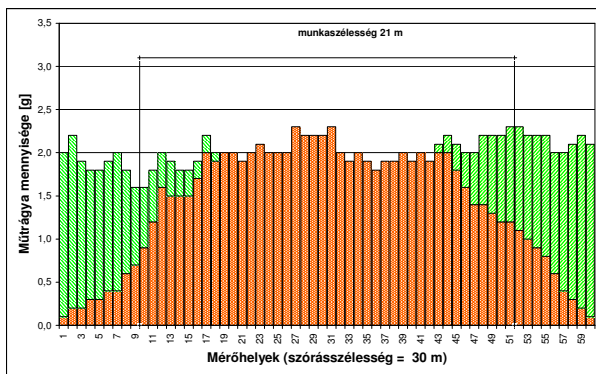
A vízszintes hajításhoz képest a szemcsék repülési távolsága növelhető a ferdehajítással. Célszerű ezért a ferdehajítás feltételeit megvizsgálni részben a röpítőtárcsa síkjának változtatásával, részben a lapát alakjának megfelelő megválasztásával.

A fent jelölt konstrukciós tényezőkön túl, elsősorban a megfelelő szórás egyenletesség biztosítása érdekében célszerű az alábbi üzemeltetési tényezők hatását vizsgálni:

- a röpítőtárcsa fordulatszám ingadozása;
- a műtrágyaáram nagysága;
- a fogáscsatlakoztatás pontossága;

A röpítőtárcsás szóró szerkezet a nagyobb munkaszélesség eléréséhez szükséges ferde hajítás érdekében kúpos tárcsa pár. A tárcsák kúposága  $172^\circ$ . A kúpos kiképzés a tárcsa merevségét növeli. Ezt a célt szolgálja a tárcsák peremezése is. Kiegyensúlyozatlan, libegő tárcsával ugyanis nem biztosítható megfelelő munkaminőség. A tárcsa közepén –a műtrágya véletlenszerű mozgásának kiküszöbölése érdekében- kúp, vagy henger található, amelyhez a szórólapátok záródnak. A kúp készülhet a tárcsa anyagából, vagy lehet leszerelhető kúp.

A röpítőtárcsa fordulatszáma 840 1/min, beépítése vízszintes. A röpítőtárcsákra 2/3 db szórólapát szerelhető. Azonos beállítás mellett a lapátok száma befolyásolja a gép szórás képének 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 (30. és 31. ábra).



30. ábra. Szórás kép két lapáttal

31. ábra. Szórás kép három lapáttal

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°), Kétlapátos szórószerkezettel (30. 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 (31. ábra), így a szórás kép háromszög jellegű lesz. A CV érték 21 m-nél 18,1 %, tehát 10,3 %-kal 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. Következtetesként levonható tehát, hogy a kétlapátos és a háromlapátos szórószerkezet eltérő adagolási helyet igényel.

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, tehát amikor műtrágya műtrágyán súrlódik. A szóró szerkezeten időegység alatt átáramló műtrágya mennyiség, valamint a lapátok érintett felülete figyelembe vételével meghatározható az adott műtrágya mennyiséghez szükséges lapátfelület illetve lapátszám.

A lapátok számának közelítő számításához az alábbi adatokat vettem figyelembe:

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.  $\gamma$  az alkalmazott műtrágya térfogattömege [kg/m<sup>3</sup>]
5.  $z$  a röpítőtárcsák száma [db]
6.  $c$  az egy tárcsán lévő lapátok száma [db]
7.  $e$  a lapát aktív magassága [mm]
8.  $l$  a legrövidebb 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  $Q_l$  [g]:

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

Az összefüggés értelmezése érdekében számítsuk ki a  $Q_1$  értékét konkrét adatokkal:

- 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

$$Q_1 = \frac{60BvQ_n}{36zcn} = \frac{60 \cdot 24 \cdot 8 \cdot 1000}{36 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 840} = 95,24 \text{ [g]}$$

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 (szétterülési hossz)  $250$  mm

$d$  az átlagos szemcseátmérő [mm] és  $m$  az átlagos szemcsetömege [g] műtrágyánként változó.

A fenti számítások eredményét a **6. táblázat** tartalmazza.

#### *A lapátok számának közelítő számítása*

#### **6. 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 15-ös képlettel történt számítás szerint 1000 kg/ha műtrágya mennyiség esetén, 2 lapátos szóró szerkezetnél, egy lapátra 95,3 g műtrágya jut, az egy rétegű mozgás -a 6. 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. Az egy lapátra 1000 kg/ha-nál jutó mennyiség, és a 6. táblázatban szereplő mennyiségek arányosítása során megállapítható, hogy a fenti két műtrágya kivételével -kétlapátos szóró szerkezettel- ideális szórás csak 650 kg.ha<sup>-1</sup>-nál kisebb műtrágya mennyiségnél lehetséges, sőt karbamidból ez a határ 330 kg.ha<sup>-1</sup>. A fenti értékek felett háromlapátos szóró szerkezet alkalmazása indokolt. Ezt a hipotézist támasztja alá a 27. és 28. 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 szórás kép kialakításának lehetőségét. Ez a keresztirányú szórás egyenlőtlenség csökkentése szempontjából előnyös. Az eltérő hosszúságú lapátok által egy-egy fordulat során kiszórt műtrágya pászták nagyobb felületet fednek, ami csökkenti a hosszirányú szórás egyenlőtlenségét.

A lapátok alakja fektetett u alak ( $\supset$ ). Kedvező, ha a sarkoknál ívelt a lapát, ami csökkenti a műtrágyaszemcsék feltapadását. Fontos, hogy a lapát munka felületén a műtrágya mozgását semmi ne zavarja, ezért a tárcsára felfekvő felületen történő rögzítés esetén sülyesztett fejű csavarokat kell alkalmazni.

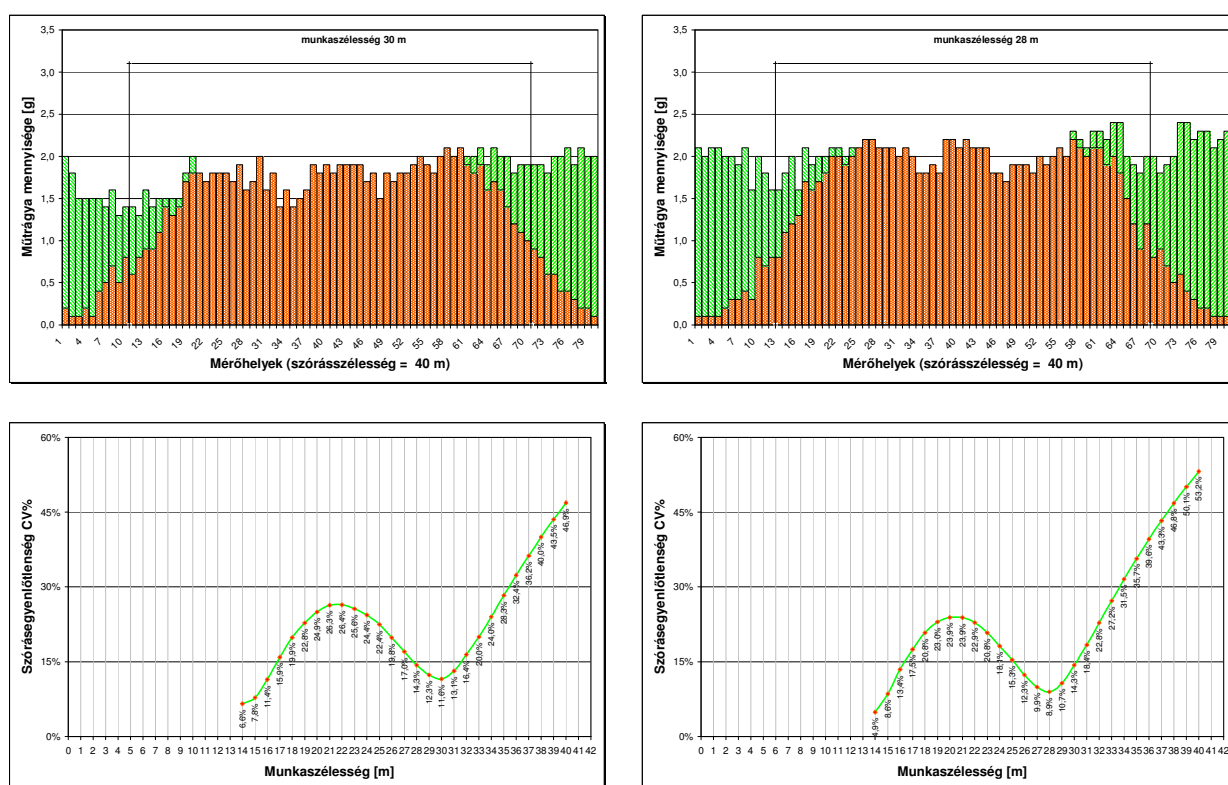
A lapátok magassága 50 mm. Az alacsonyabb lapát előnyös, mert a tömör sugárban kiszórt műtrágya csökkenti a gép szórás egyenlőtlenségét. A magasabb lapáton nagyobb műtrágyaáram esetén is biztosítható az egyrétegű mozgás. A lapát magassága kompromisszum eredménye. Fejtrágyázó gépeknél, ahol a kijuttatott 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

lépcsőzetesség hossza és magassága fontos kérdés, optimális értéke csak kísérleti úton határozható meg.

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

A lapátok sugáriránnyal bezárt szögének módosítása két fontos paramétert változtat meg. Forgásirányban előre állítás növeli a szórás szélességet és a szórás egyenlőtleniséget egyaránt. Forgásirányban hátra állított lapátok esetén csökken a szórás szélesség és a szórás egyenlőtleniség (32. és 33. ábra).



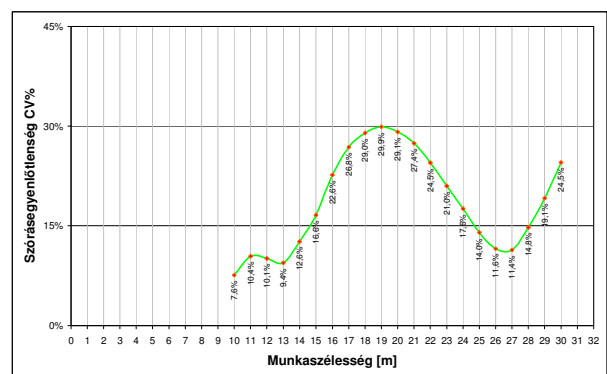
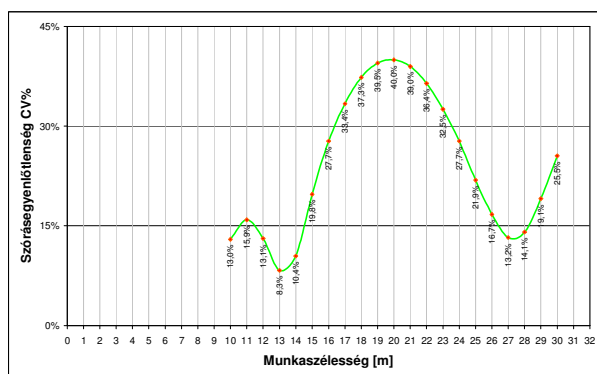
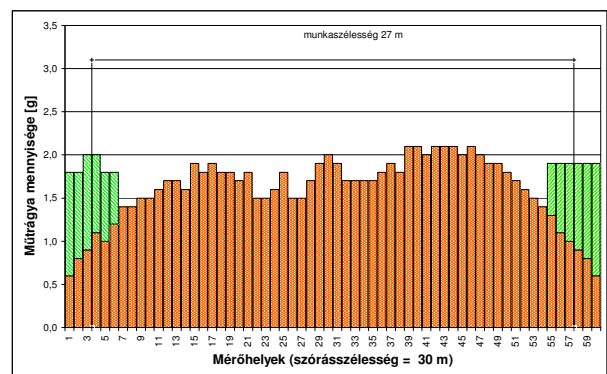
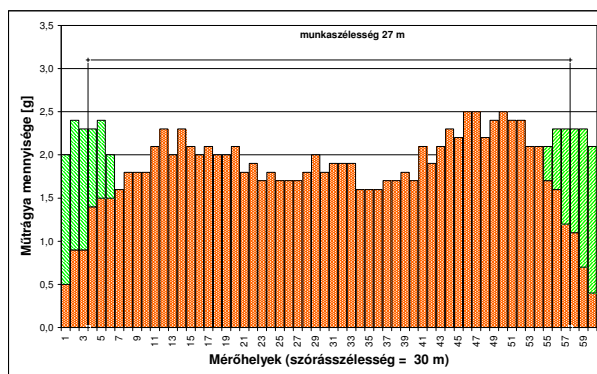
32. ábra. Szóráskép előre állított lapátokkal

33. 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 %-kal, 8,9 %-ra javult. Biztonsággal megállapítható tehát, hogy a forgásirányba hátra állított lapátok javítják a gép munkaminőségét, bár ezzel a munkaszélesség csökken. A munkaszélesség és a szórás egyenlőtleniség módosításához tehát kiváló eszköz a lapátok szögállítása, azért a szórószerkezetet célszerű ezzel a lehetőséggel

gyártani. A fenti vizsgálati eredményeket is figyelembe véve a nagyobb munkaszélesség lépcsőket a lapátok hosszával, a kisebbeket a lapátok szögállításával célszerű megvalósítani.

Mint korábban megállapítottam, a lapát menti sebesség növelésének több lehetősége van. A Coriolis erő okozta súrlódási ellenállás csökkentésének hatásos módszere a lapátok szögállítása. A lapátok forgásirányba hátra állítása miatt –bár csökken a lapátvégen mért kerületi sebesség- a súrlódási ellenállás csökkenésével megnő a lapát menti sebesség, és ez részben ellensúlyozza a kerületi sebesség csökkenésének 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 (34. és 35. ábra).



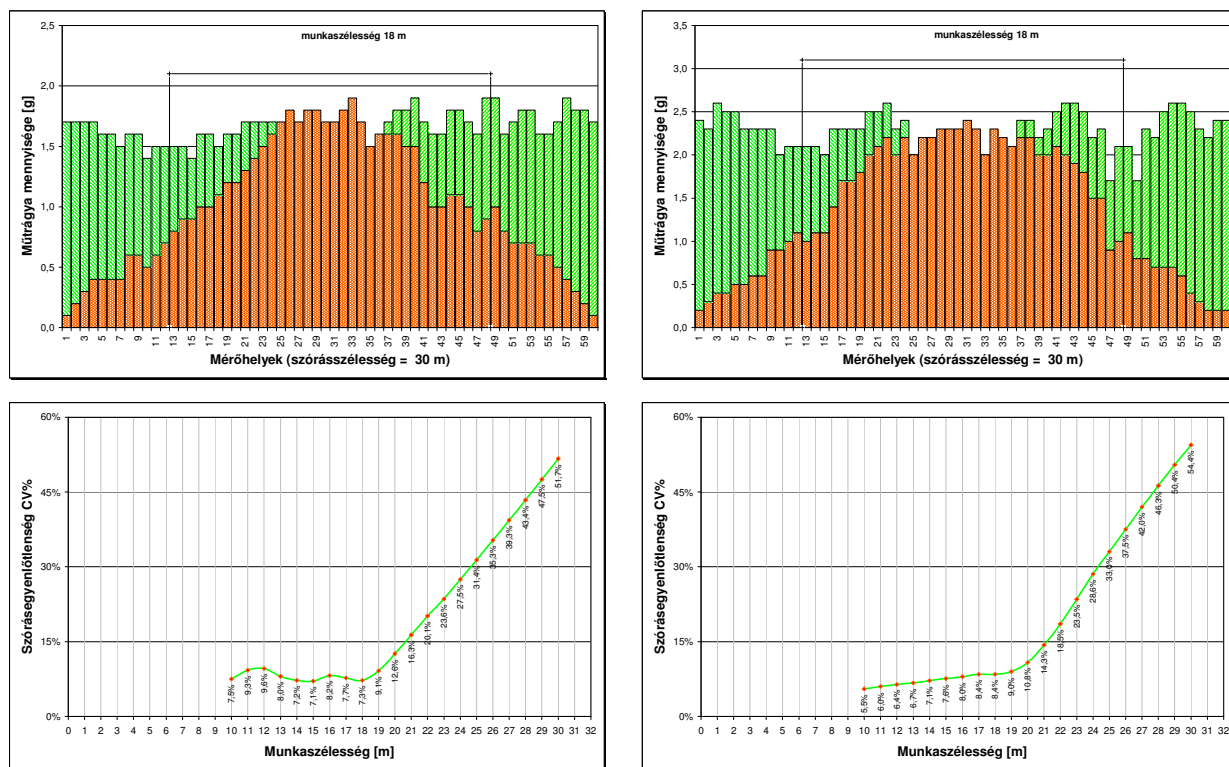
34. ábra. Mérés 90°-os lapáttal

35. 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, lapát-beállítás: A/C, 90/98°). 90°-os lapátokkal 27 m munkaszélesség mellett a CV érték 13,2 % volt (34. ábra). A lapátok hátra döntésével (98°-os lapát) változatlan munkaszélesség mellett a CV érték 1,8 % -kal csökkent (35. 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.

A lapátok további hátradöntésére is végeztem vizsgálatokat (36. és 37. ábra).



A két ábra azonos beállítás eredménye, csupán a lapátok hát szöge módosult (az alkalmazott műtrágya: NPK 15-15-15, adagoló állás: 3, adagolási hely: D5, lapátok száma: 2, lapátbeállítás: A, 90/106°). 90°-os lapátokkal 20 m-nél kisebb munkaszélességnél a CV érték megfelelő volt, 18 m-nél 7,3 % (36. ábra). 106°-os lapátokkal 21 m munkaszélesség mellett volt megfelelő a Cv érték, 18 m-nél 8,4 %-kal (37. ábra). A hatás tehát sem jelentős, sem egyértelmű nem volt, ezért a lapátok hátdőlésének növelése csak egy bizonyos mértékig (méréseim alapján 98°-ig) célszerű. Megállapítható tehát, hogy a lapátok hátra döntése meghatározott mértékig hasonló hatást eredményez, mint a forgásirányba hátra állított lapát, a hatás azonban mérsékeltebb. A szórás egyenlőtlen csökkenéséhez tehát alkalmazható a lapátok hátszögének meghatározott mértékig történő növelése.

#### 4.7. Üzemeltetési jellemzők

A röpitő tárcsás műtrágyaszóró gépek munkaminőségét az alkalmazott műtrágya jellemzői, a gép konstrukciós adottságai, és az üzemeltetés szakszerűsége határozza meg. Bármelyiket

ezek közül figyelmen kívül hagyják, a kívánt munkaminőség nem érhető el. A műtrágyák fizikai jellemzőit és a gép konstrukciós adottságait korábbi fejezetekben elemeztem. Most az üzemeltetés néhány fontos kérdését tárgyalom.

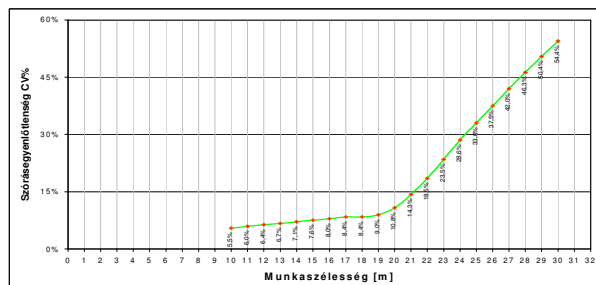
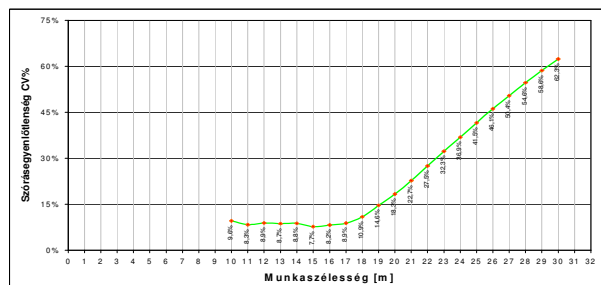
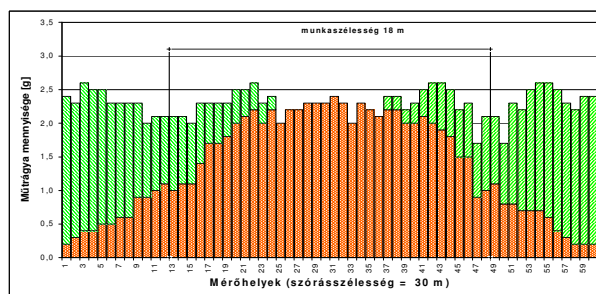
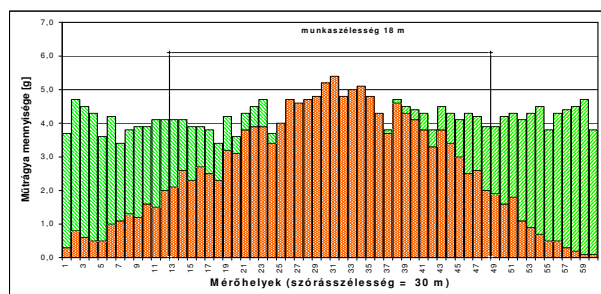
### *A műtrágyaszóró gép beállítása*

A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek a pontos beállításra rendkívül érzékenyek. A legkisebb beállítási pontatlanság jelentős hiba forrása lehet. Fontos, hogy a gép beállításához rendelkezésre álljanak a különböző műtrágyákhoz, műtrágya mennyiségekhez, üzemi sebességekhez és a tervezett munkaszélességhez szükséges beállítási adatok. Ezeket az adatokat csak erre a célra akkreditált intézetek tudják meghatározni a gépek munkaminőségi vizsgálatai alapján. Hazánkban ezeket a vizsgálatokat az FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézete –amely tagja a gépvizsgálatok nemzetközi szövetségének (ENTAM)- megbízásából a Debreceni Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar Géptani Tanszéke végzi műtrágyaszóró gép vizsgáló bázisán. A gépekhez rendelkezésre bocsátott beállítási adatok alapján az alábbi ellenőrzéseket és beállításokat kell elvégezni:

- 1. Az erőgép ellenőrzése.* Az ellenőrzés során meg kell mérni a TLT fordulatszámát, mert csak a szabványos fordulatszám mellett érvényesek a műtrágyaszóró gépre megadott jellemzők. Eltérés esetén a TLT fordulatszámát korrigálni kell. Az üzemeltetés során a röpitőtárcsa fordulatszám ingadozása nem engedhető meg, mert az a munkaminőség romlásához vezet. Az erőgép teljesítményének helyes kiválasztása e tekintetben fontos. Művelő utas rendszerben történő tápanyag kijuttatásnál ellenőrizni kell az erőgép járószerkezetének jellemzőit (kerék szélesség, nyomtávolság). Szükség esetén el kell végezni a szükséges korrekciókat. Függesztett gép esetén ellenőrizni kell a műtrágyaszóró gép telt tartálya esetén az erőgép stabilitását, kormányzásának biztonságát.
- 2. A területegységre kijuttatni tervezett műtrágya mennyiség beállítása.* A beállításhoz táblázat, vagy nomogram szükséges. A beállítást követően leforgatási próbával kell ellenőrizni a beállítás helyességét. A leforgatási próbát mindig el kell végezni, mert a táblázat elkészítéséhez alkalmazott műtrágyák fizikai jellemzői eltérhetnek a kijuttatni kívánt műtrágyáétól. A leforgatási próbához kiegészítő berendezés szükséges, amelyet alapfelszerelésként kell szállítani a géphez. A leforgatási próba általában az egyik röpitőtárcsa leszerelése után végezhető el. A leforgatási próbát álló, vagy mozgó géppel

lehet elvégezni. Amennyiben a kiegészítő berendezés lehetővé teszi a mozgás közben végzett mérést, úgy ezt kell választani, mert ez a gép rázkódása miatt realisabb értéket ad.

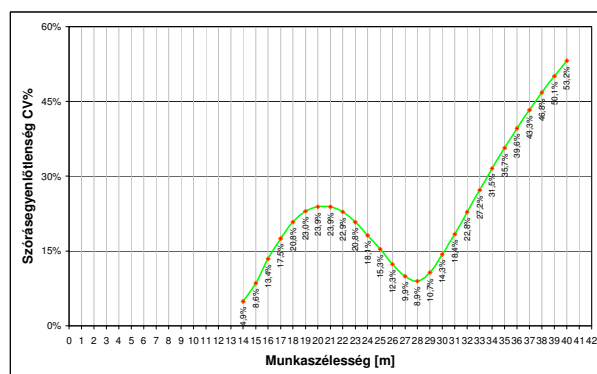
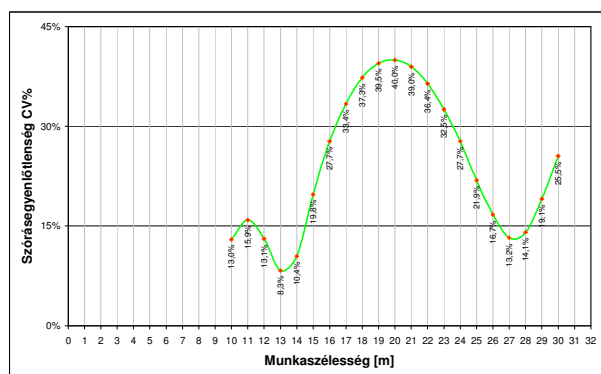
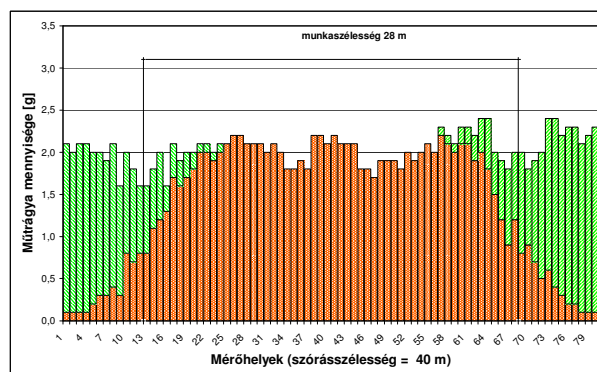
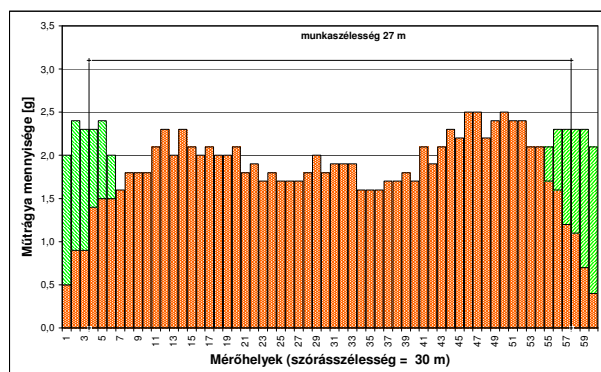
3. *A keresztirányú szórás kép ellenőrzése.* Amennyiben megfelelő ellenőrző szett áll rendelkezésre, a táblán ellenőrizni lehet az adott műtrágyával, műtrágya mennyiséggel a tervezett munkaszélesség mellett a keresztirányú szórás képet. Az ellenőrzés kihelyezett mérőtálcákkal, mérőcsövekkel történik és a nagyobb hibák kiszűrésére alkalmas.
4. *A korrekt fogáscsatlakoztatás biztosítása.* A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek keresztirányú szórás képének jellege miatt egyenletes műtrágya eloszlás csak akkor érhető el, ha a szórás képeket -az egymást követő menetek során- átfedjük. A gépek munkaminőségi vizsgálataiban meghatározták a különböző munkaszélesség beállításához szükséges adatokat. A meghatározott munkaszélesség tartásával biztosítható csak a kívánt munkaminőség. A munkaszélesség tartása a nagy munkaszélességek miatt nem egyszerű, segédeszköz nélkül nem lehetséges. A munkaszélesség tartásánál megengedhető eltérés a keresztirányú szórás kép jellegétől függ. Mindenképpen fontos azonban, hogy az eltérés során nem növekedhet a keresztirányú szórás egyenlőtlenség (CV) a megengedett érték (15 %) fölé, mert ennek termés-csökkenő és a termény minőségét rontó kihatása van. Ezért a munkaszélességtől megengedett eltérés elemzésénél mindig a CV érték megfelelő szinten tartása a cél (38. és 39. ábra).



38. ábra. Pontos fogáscsatlakoztatási igény

39. ábra. Kevésbé pontos fogáscsatlakoztatás igénye

A 38. ábra esetén 18 m-es munkaszélességnél, + 1 m-es fogáscsatlakoztatási hiba esetén a CV határon van, tehát pontos fogáscsatlakoztatás szükséges az elvárt munkaminőség eléréséhez. – irányban az eltérés nem okoz hibát. A 39. ábrás látható esetben 18 m-es munkaszélesség esetén a csatlakoztatási hiba + 3 m is lehet, - irányban az eltérés nem okoz hibát. Ez a háromszög formájú szórásképekre jellemző. Nem véletlen, hogy a mai gépfejlesztés ezt a szórásképformát célozta meg. A trapéz formájú szórásképek fogáscsatlakoztatás szempontjából kritikusabbak (40. és 41. ábra).



40. ábra. Pontos fogáscsatlakoztatási igény

41. ábra. Kevésbé pontos fogáscsatlakoztatás igénye

A 40. ábra esetén 28 m-es munkaszélességnél, pozitív irányban nincs eltérési lehetőség, negatív irányban 1 m-es eltérés lehetséges, tehát pontos fogáscsatlakoztatás szükséges az elvárt munkaminőség eléréséhez. A 41. ábrán látható esetben 28 m-es munkaszélesség esetén a csatlakoztatási hiba  $\pm 2$  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 szóráskép 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 természetesi mód, vagy a GPS-re alapozott párhuzamosan vezető rendszer alkalmazása. A fenti példákból is látható, hogy a műtrágyaszóró gépek fogáscsatlakoztatásánál a ma szokásos párhuzamosan vezető rendszerek pontossága az elvárásoknak megfelelő.

A környezet megóvása, a költségek csökkentése érdekében a műtrágyaszóró gépeknél meg kell oldani, hogy a tábla szélén, utak, csatornák mentén a szóráskép a kívánt mértékben lehatárolható legyen. Ennek legegyszerűbben megvalósítható megoldása a szórótárcsa mellé - a szélszórás során- befordítható terelő szerkezet alkalmazása, amely a műtrágyaszemcsék repülési irányát és ezzel repülési távolságát a kívánt oldalon módosítja.

A keresztirányú szórás egyenlőtlenség mellett vizsgáltam a hosszirányú szórás egyenlőtlenség értékeit. Megállapítottam, hogy a gép hosszirányú szórás egyenlőtlensége megfelel a szabvány követelményeinek.

#### **4.8. A fejlesztett gép a termőhely-specifikus tápanyag kijuttatásban**

A fejlesztett gép alkalmassá tehető a termőhely-specifikus tápanyag kijuttatásra, azonban ehhez megfelelő átalakítások szükségesek.

A gép kihordó szerkezete ebben az esetben szállítószalag, amelynek hajtása továbbra is lehet járókerék arányos, azonban a hely-specifikus kijuttatás esetén a kisebb reakcióidő elérése érdekében célszerű nagyobb szállítószalag sebességet választani.

A réses adagoló szerkezetet két ikeradagoló szerkezettel kell felcserélni, amelyeket egymástól függetlenül kell működtetni. A résállító szerkezetek mozgását villanymotor-csavaroraszó kombinációjával célszerű megvalósítani, mivel ennek vezérlése könnyen megoldható, és reakcióideje gépészeti szempontból nem számottevő. A résállító szerkezetek differenciált állítási lehetősége biztosítja azt, hogy a gép jobb- illetve baloldala eltérő mennyiségű műtrágya kijuttatására legyen alkalmas.

A kiadagolt műtrágya mennyiség változtatásával módosítani kell az adagolási helyet. Ennek megfelelően nem csak a résállító szerkezet, hanem az adagolási hely állító rendszer mozgását is biztosítani kell. A két rendszer egymástól is függő mozgását meghatározó függvénykapcsolatot a dolgozat megállapításait alkalmazva, mérésekkel kell meghatározni.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK, ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, JAVASLATOK

### 5.1. Következtetések

Az irodalom elemzése, elméleti megfontolások és a kísérletek eredménye alapján a tervezett gépek továbbfejlesztéséhez az alábbi alapösszefüggéseket, tervezési irányértékeket határoztam meg:

#### 1. A tartály mérete

- Az egytárcsás függesztett műtrágyaszóró gép tartálymérete  $800 \text{ dm}^3$ , amely tartálytoldattal  $1000 \text{ dm}^3$ -ig növelhető.
- A kéttárcsás függesztett műtrágyaszóró gép tartálymérete  $1500 \text{ dm}^3$ , amely tartálytoldatokkal  $2000 \text{ dm}^3$ -ig növelhető.
- A vontatott műtrágyaszóró gép tartálymérete  $4000 \text{ dm}^3$ , amely tartálytoldattal  $5000 \text{ dm}^3$ -ig növelhető.
- A tartálynyílást minden esetben legfeljebb 30 mm lyukméretű töltőrácscsal kell ellátni.
- A gépek tartályára záró fedelet kell készíteni.

#### 2. A boltozódás gátló szerkezet

A függesztett, gravitációs adagolású gépeket 200 l/min-nél kisebb fordulatszámú, vagy lengésszámú boltozódás gátló szerkezettel kell ellátni. A boltozódás gátló szerkezet az adagoló nyíláshoz közel helyezkedjen el, de mozgása során ne akadályozza a műtrágya áramlását az adagolórésen át.

#### 3. A kihordó szerkezet

A vontatott gépek kényszeradagolását szállító szalagos, vagy láncos szállító szerkezettel kell megoldani. A szállító szerkezet szélessége 420 mm, sebessége lassú fokozatban (500 kg/ha alatti műtrágyaadagnál) 1,7 m/min, gyors fokozatban (500 kg/ha feletti műtrágyaadagnál) 3,5 m/min. A szállító szerkezet hajtása járókerék arányos (dörzskerekes). Láncos szállító szerkezetnél a fenéklemez adagolórés felőli oldalán „V” alakú rést kell kialakítani, a szállítás szakaszosságának csökkentésre. A rés szélessége megegyezik a szállító szerkezet szélességével, haladási irányba eső hossza a kaparóelem osztástávolságával azonos. A nagyobb műtrágyamennyiségeknél jelentkező szakaszos kiömlés csökkentése érdekében a szállító szerkezet felett oszlató láncokat célszerű elhelyezni.

#### *4. Az adagoló szerkezet*

A függesztett gépek gravitációs adagoló szerkezete a tartály alján elhelyezett, célszerűen megválasztott alakú és méretű rés. A résszabályzó szerkezet működtetés a kis gépen kézi, a nagyobb gépen hidraulikus. A működtető rendszer kialakításánál célszerű figyelembe venni a hely-specifikus kijuttatáshoz való csatlakoztatás lehetőségét. A vontatott gép résszabályozású adagoló kézi orsóval fel-le mozgatható tolózár. A rés szélessége a szállító szerkezet szélességével megegyező, maximális magassága 170 mm, minimális magassága 20 mm. A tolózár működtetés kialakításánál célszerű figyelembe venni a hely-specifikus kijuttatáshoz való csatlakoztatás lehetőségét.

#### *5. Adagolási hely állító, elosztó szerkezet*

A függesztett gépek adagoló szerkezetéhez adagolási hely állító tölcse kell alkalmazni, melynek mozgásterülete a kísérleti géppel végzett mérések alapján pontosan behatárolható. A vontatott gépnél egységesített elosztó-adagolási hely állító szerkezetet kell alkalmazni. Az elosztó szerkezet pozíciójának biztosítani kell a szállító szerkezet által szállított műtrágya pontos kettéosztását, valamint lehetővé kell tenni az adagolási hely térbeni szimmetrikus állítását. Az alkalmazott adagolási helyek a kísérleti géppel végzett mérések alapján pontosan behatárolhatók.

#### *6. Szóró szerkezet*

A munkaszélesség növelését elősegítő ferde hajítás megvalósítása érdekében kúptárcsa alkalmazása indokolt. A tárcsa kúpszöge  $172^\circ$ . A tárcsa merevségének növelése érdekében a tárcsa peremezett. A tárcsa közepén osztó kúp/henger alkalmazása indokolt. Ide záródnak a lapátok belső végei. A tárcsán ovális furatot célszerű alkalmazni a lapátok sugárirányú szögének állításához. A nyílás pozíciója és mérete a kísérleti géppel történt mérések alapján pontosan meghatározható. A nyílás skálát tartalmaz, amely a lapátszög pontos beállítását teszi lehetővé. A röpitőtárcsa fordulatszáma 840 1/min. A tárcsák befelé forgó rendszerűek.

A röpitőtárcsán a függesztett gépeken 2 db, a vontatott gépen 2/3 lapát alkalmazható. Ez utóbbi esetben általában 650 kg/ha-nál kisebb műtrágyamennyiségnél 2 lapát, 650 kg/ha-nál nagyobb műtrágyamennyiségnél 3 lapát alkalmazása indokolt. Ez a határ karbamid esetén 330 kg/ha. A váltást –a szerelés közben előforduló tévedések, hibák kiküszöbölése érdekében tárcsacserével célszerű megoldani. Eltérő hosszúságú szórólapátok alkalmazása indokolt.

Kétlapátos szóró szerkezetnél a lapátok hossza 400/300 mm, háromlapátosnál 400/350/300 mm. Az eltérő hosszúságú lapátok alkalmazásával csökkenthető mind a keresztirányú, mind a hosszirányú szórás egyenlőtlenség. A lapátok alakja fektetett „U” profil. A lapátok magassága 50 mm. A lapátok sugáriránnyal bezárt szöge műtrágyánként és munkaszélességenként változik. A pontos beállítási adatokat táblázatban kell közölni. A vizsgáltok eredménye alapján  $98^\circ$  hátdőlésű lapátok alkalmazása indokolt. A lapátok anyaga rozsdamentes acél.

### *7. Fogáscsatlakoztatás*

A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek keresztirányú szórás képének jellege miatt egyetlen műtrágya eloszlás csak akkor érhető el, ha a szórás képeket -az egymást követő menetek során- átfedjük. A munkaszélesség tartásánál megengedhető eltérés a keresztirányú szórás kép jellegétől függ. Mindenképpen fontos azonban, hogy az eltérés során nem növekedhet a keresztirányú szórás egyenlőtlenség (CV) a megengedett érték (15 %) fölé, mert ennek terméscsökkenő és a termés minőségét rontó kihatása van. A fogáscsatlakoztatás mai korszerű megoldása a művelő utas termesztési mód, vagy a GPS-re alapozott párhuzamosan vezető rendszer alkalmazása. Méréseink alapján a műtrágyaszóró gépek fogáscsatlakoztatásánál a ma szokásos párhuzamosan vezető rendszerek pontossága az elvárásoknak megfelelő.

### *8. Határszórás*

A környezet megóvása, a költségek csökkentése érdekében a műtrágyaszóró gépeknél a tábla szélén, utak, csatornák mentén a szórás képet a kívánt mértékben lehatároló ernyő alkalmazása indokolt.

## **5.2. 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 röpítőtárcsa síkjával tompaszöget bezáró lapátfelület szögének hatását a munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre.
5. Meghatároztam a keresztirányú szórások jele és a csatlakoztatási pontosság összefüggését.

### 5.3. Javaslatok

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 vizsgálatait szakirodalomban nyomon követhetők (példaként a **2. mellékletben** bemutatok egy összehasonlító vizsgálatról szóló közleményt), 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 járókerékárayos 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. ÖSSZEFOGLALÁS

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 előírások előbb-utóbb nálunk is érvényre jutnak. Célul tűztem ki tehát, hogy a sorozatban gyártott gépeink új, az Európa Unióban érvényes előírásokat is kielégítő generációja kifejlesztéséhez megfelelő alapokat dolgozzok ki. Ennek megvalósítása érdekében tanulmányoztam a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek munkaminőségét befolyásoló legfontosabb tényezőket, elemeztem a szórás elméletét, megvizsgáltam a legfontosabb szerkezetek lehetséges változatait, és ezek alapján meghatároztam a gépek továbbfejlesztésének alapfeltételeit.

A megelőző modellkísérletek eredményei, gépvizsgálatok tapasztalatai, valamint irodalmi ismeretek alapján kísérleti műtrágyaszóró gépet terveztem, melynek fő méretei a gyakorlatban alkalmazott műtrágyaszóró gépek méreteivel megegyeznek. A gép kialakítása lehetővé tette a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek munkaszélességét és szórás egyenlőtlenségét befolyásoló fontosabb jellemzők vizsgálatát és elemzését.

A vizsgálatokat a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Kar Géptani Tanszékének mérőpályáján végeztem. Az alkalmazott szórószerkezet paraméterei által meghatározott szórás szélességtől függően a pályát 42 m és 50 m közötti szélességgel alkalmaztam.

Az irodalom elemzése, elméleti megfontolások és a kísérletek eredménye alapján a tervezett gépek továbbfejlesztéséhez meghatároztam a szükséges alapösszefüggéseket és tervezési irányértékeket.

Meghatároztam a fejleszteni kívánt műtrágyaszóró gépek tartályjellemzőit. A ma alkalmazott műtrágyaadagok figyelembevételével meghatároztam a vontatott műtrágyaszóró gépek kihordó szerkezetének főbb jellemzőit.

Méréseket végeztem és összefüggést határoztam meg a műtrágya adagolásában előforduló aszimmetria és a keresztirányú szórás egyenlőtlenség tisztázására.

Kiterjedt vizsgálatokat végeztem az adagolási hely munkaszélességre és keresztirányú szórás egyenlőtlenségre gyakorolt hatásának megállapítására.

Vizsgáltam az eltérő fizikai jellemzőkkel rendelkező műtrágyák optimális adagolási hely igényét.

Vizsgáltam az eltérő műtrágyamennyiségek eltérő adagolási hely igényét.

Számításokat végeztem a lapát felületén egy rétegben mozgó műtrágyamennyiség és a lapátszám összefüggésének meghatározására. Az összefüggés helyességét kísérleti eredményekkel támasztottam alá.

Különböző hosszúságú lapátokkal végeztem vizsgálatokat az elérhető munkaszélesség meghatározása érdekében.

Vizsgáltam a sugáriránnyal szögben állított lapátok hatását a munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre. Három eltérő szögállást elemeztem.

Vizsgáltam a röpitőtárcsa síkjával  $90^\circ$ ,  $98^\circ$  és  $106^\circ$  –os szöget bezáró lapátfelület szögének hatását a munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre.

Elemeztem a keresztirányú szórás képek jellege és a csatlakoztatási pontosság összefüggését.

A vizsgálatok és elemzések alapján meghatároztam a gépfejlesztésekhez szükséges tervezési alapösszefüggéseket.

## **7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek Dr. Csizmazia Zoltán Professzor Úrnak a munkámhoz nyújtott nélkülözhetetlen segítségért.

Köszönöm a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Kar Géptani Tanszék, valamint a Tornádó International Kft munkatársainak a kísérletek elvégzéséhez és a dolgozat eredményeinek kiértékeléséhez nyújtott segítségét.

## 8. IRODALOM

1. ACHORN F.P.–KIMBROUGH H.L. (1970). Application of granular fertilizers. *Agricultural Chemicals*, Caldwell, 25. k. 1. sz. 30-36. 49. p.
2. ANCZA B. E.-CSIZMAZIA Z.-GINDERT K. Á.-HAGYMÁSSY Z (2002). Friction Between Fertilizer Particles and Different Types of Surfaces. *Hungarian Agricultural Engineering*. No. 15. 41-43. p.
3. ANDRINGA J.T. (1970). Transport en verwerking van kunstmest. *Landbouwmecanisatie*, Wageningen, 21. évf. 3. sz. 249-254. p.
4. APHALE A.-BOLANDER N.-PARK J.-SHAW L.-SVEC J.-WASSGREN C. (2003). Granular Fertiliser Particle Dynamics on and off a Spinner Spreader. *Biosystems Engineering* 85. évf. 3. sz. 319-329. p.
5. ASZTALOS K. (1972). Mútrágya tárház a Hidasháti Állami Gazdaságban. *Mezőgazdasági Gépészet és Építészet*. 7. évf. 1. sz. 30-34. p.
6. BALG J.–HEEGE H.J.–HELLWEG W. (1979). Düngermischung am Schüttkegel. *Landtechnik*. 34. évf. 3. sz. 122-126. p.
7. BÁNYAI ZS. (1971). Mútrágyák zsákban vagy ömlesztve? *Mezőgazdasági Technika*. 11 évf. 1. sz. 10-12. p.
8. BÁNYAI ZS.–DEMES GY.–GOCKLER, L. (1977). A mútrágyakezelés gépesítése az agrokémiai központokban. *Járművek, Mezőgazdasági Gépek* 24. évf. 5. sz. 189-191. p.
9. BÉSÁN J.–NÉ–MENYHÁRT M.–SZÁNTÓ, A. (1982). Mútrágyák fizikai tulajdonságai. NEVIKI.
10. BRINSCHWITZ W.–REGLING H. (1972). Rationalisierung der Umschlages von Mineräldüngern in den ACZ durch Einsatz von Selbstentladewagen. *Mitteilungen der Zentralvorstandes der Vereinigung der gegenseitigen Bauernhilfe*, Berlin, 104. évf. 70. sz. 21-23. p.
11. BRINSFIELD R.B.–HUMMEL J.W. (1975). Simulation of a New Centrifugal Distributor Design. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs. St. Joseph*, 18. köt. 2. sz. 213-216. p.
12. BRÜBACH M. (1973). Der Einfluss der Korngröße, der Granulatfestigkeit und der Reibung auf die Verteilung von Dünge- und Pflanzenschutz-Granulaten. *Technische Universität, Berlin. Dissertation*, 1-121. p.
13. BUCHNER A.–ULLRICH K.H. (1974). Bulk handling of fertilizers solves distribution problems. *European Chemical News. – Chemoscope Large Plants Supplement*, 18. köt. 36-45. p.
14. BUCZOLICS Ö.–KIRÁLY L. (1970). A röpítőtárcsás mútrágyaszórók paramétereinek és szóráségyenletességének vizsgálata. *Járművek, Mezőgazdasági Gépek*. 17. évf. 9. sz. 352-358. p.
15. BURCKHARDT E. (1980) Rationalisierung der Arbeitsprozesse in den Agrochemischen Zentren. *Agrartechnik*. 30. évf. 7. sz. 298-299. p.
16. CERA M.–BIZOTTO A. (1978). Aspetti tecnici-organizzativi ed economici nella distribuzione dei fertilizzanti liquidi. *Macchine e Motori Agricoli*. 36. kötet. 10. sz. 43-50. p.

17. CRUCQ J. (1992). De centrifugaalstrooier 35 jaar geleden in LM, Landbouwmecanisatie, 43. évf. 3. sz. 30-31. p.
18. CUNNINGHAM F. M.–CHAO E.Y.S. (1965). Design Relationship for Centrifugal Fertilizer Distributors. Paper No. 65-605. presented at the Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers at Chicago.
19. CSERNIKOV B.P. (1978). Vlijanije sirinü rezbraszüvanija na kacsesztvo vneszenija udobrenij. Mechanizacija i Élektrifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztva, Moszkva. 7. sz. 55. p.
20. CSIZMAZIA Z. (1968). Röpitötárcsás műtrágyaszóró gépek szórás egyenletességének vizsgálata. Doktori értekezés. Agrártudományi Egyetem Mezőgazdasági Gépészmérnöki Kar Gödöllő. Mezőgazdasági Gépek Tanszék.
21. CSIZMAZIA Z. (1980 a). A Pneugran ES-3,5 pneumatikus granulátumszóró üzemeltetési jellemzőinek meghatározása. Járművek, Mezőgazdasági Gépek. 27. évf. 6. sz. 209-213. p.
22. CSIZMAZIA Z. (1980 b). Műtrágyaszóró gépek, a csatlakoztatás hibáinak csökkentése. Mezőgazdasági Technika. Bp. 20. évf. 6. sz. 10-11. p.
23. CSIZMAZIA Z. (1982). A röpitötárcsa fordulatszám-változásának következményei. Tudomány és Mezőgazdaság, 20. évf. 4. sz. 29-33. p.
24. CSIZMAZIA Z. (1983). Röpitötárcsás műtrágyaszóró gépek munkaszélességét és szórás egyenletességét befolyásoló legfontosabb tényezők vizsgálata. Kandidátusi értekezés tézisei. Debrecen.
25. CSIZMAZIA Z. (1984 a). Röpitötárcsás műtrágyaszóró szerkezet fejlesztésének eredményei. Járművek, Mezőgazdasági Gépek, Budapest, 31. évf. 4. sz. 121-127. p.
26. CSIZMAZIA Z. (1984 b). Üzemeltetési feltételek hatása a műtrágyaszóró gépek munkaszélességére és szórás egyenletességére. Járművek, Mezőgazdasági Gépek, Budapest, 31. évf. 10. sz. 361-366. p.
27. CSIZMAZIA Z. (1986 a). Röpitötárcsás műtrágyaszóró szerkezet fejlesztése. A mezőgazdaság műszaki fejlesztésének tudományos kérdései sorozat. 66. füzet. Akadémiai Kiadó, Budapest, 82. p.
28. CSIZMAZIA Z. (1986 b). Fejlesztett adagolószerkezettel megoldható a műtrágyák egyenletes kijuttatása. Mezőgazdasági Technika, Budapest, 26. évf. 12. sz. 0-1. p.
29. CSIZMAZIA Z. (1987). A szilárd műtrágyák egyenletesebb kiszórásának néhány műszaki feltétele röpitötárcsás szórószerkezet alkalmazásakor. ATE, Debrecen, Tudományos Közleményei, XXVII. kötet, 273-293. p.
30. CSIZMAZIA Z. (1989). Vizsgálópálya műtrágyaszóró gépekhez. Járművek, Mezőgazdasági Gépek, Budapest, 36. évf. 3. sz. 93-96. p.
31. CSIZMAZIA Z.-DEMES GY. (1990). TORNÁDÓ-1300 új hazai műtrágyaszóró. Mezőgazdasági Technika, Budapest, 31. évf. 6. sz. 6-7. p.
32. CSIZMAZIA Z. (1990). The development of fertilizer spinner for low rate fertilizing. Hungarian Agricultural Engineering, Gödöllő, 3. sz. 22-23. p.
33. CSIZMAZIA Z.-KŐKUTI A. (1991). Műtrágyaszóró kisgazdaságok részére. Mezőgazdasági Technika, Budapest, 32. évf. 4. sz. 18-19. p.

34. CSIZMAZIA Z. (1993 a). Vizsgálóbázis fejlesztése műtrágyaszóró gépekhez. Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, 40. évf. 3. sz. 109-112. p.
35. CSIZMAZIA Z. (1993 b). Technical Conditions of Equalized Fertilizer Application. Hungarian Agricultural Research. No. 4. 16-22. p.
36. CSIZMAZIA Z.-POLYÁK N.I.-KASZA F. (1994). The Determination of Physical Characteristics of Seeds for the Construction of Seeding Machines. Hungarian Agricultural Engineering. No 7. 63-66 p.
37. CSIZMAZIA Z.-KASZA F.-POLYÁK N.I. (1995). Műtrágyaszóró tárcsa-lapát kialakítás optimalizálása számítógépes szimulációval. A Debreceni Agrártudományi Egyetem Tudományos Közleményei, XXXI. köt. 383-394. p.
38. CSIZMAZIA Z. (1997 a). Technical Conditions of Environment-Protective Fertilizer Application. Pollution and Water Resources, Columbia University Seminar Proceedings. Volume XXIX. 57-72. 211-225 p.
39. CSIZMAZIA Z. (1997 b). A röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek néhány tervezési és szabályozási kérdése. A Debreceni Agrártudományi Egyetem Tudományos Közleményei, XXXIII. köt. 1997. 383-394. p.
40. CSIZMAZIA Z.-POLYÁK N.I. (1997 a). Designing and Control Questions of Rotary Disc Fertilizer Spreader Machines. Hungarian Agricultural Engineering. No 10. 22-24. p.
41. CSIZMAZIA Z.-POLYÁK N.I. (1997 b). Röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek néhány tervezési és szabályozási kérdése. Mezőgazdasági Technika, 1997. 38. évf. 5. sz. 2-4. p.
42. CSIZMAZIA Z.-LAJOS T.-MARSCHALL J.-NAGYNÉ P. I. (2000). Új rendszerű légszóró fejlesztése. Mezőgazdasági Technika, 41. évf. 9. sz. 2-5. p.
43. CSIZMAZIA Z.-KÖKUTI A. (2001). KUHN-RAUCH MDS 921 műtrágyaszóró. Gyakorlati Agrofórum, 12. évf. 8. sz. 70-73. p.
44. CSIZMAZIA Z.-NAGYNÉ P.I. (2001). Movement of Particles in the Air. Journal of Agricultural Sciences 1. Acta Agraria Debreceniensis. 22-26. p.
45. CSIZMAZIA Z.-BALLÓ B.-KASZA F.-NAGYNÉ P.I.-HAGYMÁSSY Z.-ANCZA B.E.-GINDERT K.Á. (2001). Súlylódásmérő készülék fejlesztése. Mezőgazdasági Technika, 42. évf. 7. sz.4-6. p.
46. CSIZMAZIA Z. (2003). Növényvédő gépek üzemeltetése. Agrofórum. 14. évf. 5. sz. 48-52. p.
47. CSUNARE N.V. (1969). Ugol usztanovki i forma lopasztej centrobezsno go razbraszüvatelja udobrenij. Mechanizacija i Élektifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajstva. Moszkva. 27. évf. 7. sz.36-37. p.
48. DAVIS P.E. (1971). The best distribution pattern for a spray nozzle or fertilizer distributor. Journal of Agricultural Engineering Research, Silsoe, 16. kötet.3. sz.316-323. p.
49. DEMES GY.-GOCKLER L. (1970). Újabb műtrágya tárházak külföldön. Mezőgazdasági Technika. 10. évf. 10. sz. 24-26. p.
50. DEMES GY. (1975). A gépesítés és a műtrágyák mechanikai tulajdonságai közötti összefüggés. Mezőgazdasági Gépészet és Építészet. 10. évf. 4. sz. 62-66. p.

51. DEMES GY. (1977 a). Hazai gyártású centrifugális rendszerű műtrágyaszóró gépek továbbfejlesztésének lehetőségei, különös tekintettel a szóráseloszlás javítására és a munkaszélesség növelésére. Doktori értekezés. Gödöllő. 124. p.
52. DEMES GY. (1977 b). Nagy szórászélességű műtrágyaszóró tárcsák. Akadémiai Kiadó, Budapest, 44. p.
53. DERGACS G.I.–PUSKAR' SZ.P. (1971). Iszszledovanie proceszsza raszpredelenija defekata centrebsznümi apparatami. Trakt. Szel'hozmas., Moszkva, 41. köt. 11. sz. 33-34. p.
54. DOBLER K.–FLATOW J. (1968). Berechnung der Wurfvorgänge beim Schleuderdüngerstreuer. Grundlagen der Landtechnik. 18. évf. 4. sz. 129-134. p.
55. DOBLER K.–FLATOW, J. (1969) Konstruktive Ausbildung der Streuorgane von Schleuderdüngerstreuern zur Erzielung eines optimalen Streubildes. Grundlagen der Landtechnik. 19. évf. 2. sz. 55-60. p.
56. DOGANOVSKIJ M.G.–KOZLOVSKIJ E.V.–RJADNÜH V.V. (1968) Vübor meszta podacsi udobrenij na broszkovüj mehanizm. Traktorü i Szel'hozmasinü, Moszkva, 4. sz. 33-36. p.
57. DOGANOVSKIJ M.G.–KOZLOVSKIJ E.V. (1972). Fizikomechanicseszkie szvojsztva udobrenij. Masini dlja vneszenija udobrenij, Masinosztojenie, Moszkva, 21-25. p.
58. ELIA P. (1966). Aspetti tecnici della distribuzione dei concimi minerali solidi. Genio Rurale, Bologna, 29. köt. 3. sz. 229-245. p.
59. FEKETE A. (2000): Precíziós termesztés. Agrofórum, 11. évf. 14. sz. 54-55. p.
60. FINKE P. (1992). Spatial variability of soil structure and its impact on transport processes and some associated land qualities. PhD-thesis Wageningen, 131. p.
61. FUHRMANN H. (1978). Der LKW-Streuaufsatz D-035 und seine konstruktiven Besonderheiten. Agrartechnik. 28. évf. 6. sz. 249-253. p.
62. GINDERT-KELE Á. (2003 a). Valós szóráskép jóslása nitrogén és összetett műtrágyák esetén a ballisztikus probléma megoldásával. Mezőgazdasági Technika, 44. évf. 4. sz. 2-4. p.
63. GINDERT-KELE Á. (2003 b). Fertiliser Pattern Prediction of Spinning Disc Spreaders. Hungarian Agricultural Research. 3. sz. 6-8. p.
64. GINDERT-KELE Á. (2005). Új eszközök alkalmazása műtrágyaszemcsék vizsgálatára. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő
65. GYIMES E. (2004). Összefüggés-vizsgálatok búzafajták szemtermésének agrofizikai tulajdonságai között. Ph.D értekezés tézisei. Mosonmagyaróvár, 17. p.
66. GREINER K.–JÄNICKE G. (1979). Momentbeladung von Transport- und Streufahrzeugen im ACZ Köthen. Agrartechnik. Berlin. 29. évf. 6. sz. 253-254. p.
67. GRIFFIS C.L.-RITTER D.W.-MATTHEWS E.J. (1983). Simulation of rotary spreader distribution patterns. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 26. évf. 1. sz. 33-37. p.
68. GRNLIE O. (1975). Modern trends in transportation and distribution of fertilizers in bags and bulk. Economic Commission for Europe, Geneva, CHEM/SEM. 2/R. 6. 11. p.

69. HANNUSCH L. (1989). Ergebnisse zur Qualitätskontrolle auf dem Feld bei der Ausbringung von Stickstoffdüngern. agrartechnik, Berlin, 39. évf. 4. sz. 164-166. p.
70. HEEGE H.J.–RÜHLE K. (1976). Düngerverteilung durch pneumatische Steuergate. Grundlagen der Landtechnik. 26. kötet. 6. sz. 222-230. p.
71. HELLWEG W. (1980). Neuheiten und Trends in der Technik der Mineraldüngeranwendung. Landtechnik. 35. évf. 11. sz. 513-517. p.
72. HENSEL O. (2003). Methode zur Streubildkontrolle bei Wurfstreuern. Landtechnik, 58. évf. 1. sz. 12-13. p.
73. HEYMANN W. (1977). Zur Applikation von Harnstoff mit dem LKW-Schleuderstreuer D-032-N. Agrartechnik. Berlin. 27. évf. 2. sz. 50-51. p.
74. HEYMANN W. (1980). Anforderungen an zukünftige Verfahren der Applikation von Mineraldüngern. Agrartechnik. 30. évf. 2. sz. 82-83. p.
75. HIGNETT T.P. (1985). Physical and chemical properties of fertilizers and method for their determination. Developments in Plant and Soil Sciences, volume 15, Fertilizer Manual. Dordrecht: M. Nijhoff/Dr W. Junk publishers for the International Fertilizer Development Center, 284-316. p.
76. HOFSTEE J. W.-HUISMAN W.-SPEELMAN L. (1990). Physical Properties of Fertilizer in Relation to Spreading and Handling. Ag.Eng90., Berlin, Oktober 23-27.
77. HOFSTEE J. W. (1992). Handling and Spreading of Fertilizers: Part 2, Physical Properties of Fertilizer, Measuring Methods and Data. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 53, 141-162. p.
78. HOFSTEE J. W. (1993). Physical Properties of Fertilizer in Relation to Handling and Spreading. Thesis Wageningen, ISBN 90-5485-149-X. 145. p.
79. HOLLMANN W.–MATHES A. (1962). Untersuchungen an Schleuderdüngerstreuer. Landtechnische Forschung. 12. évf. 6. sz. 179-186. p.
80. IRLA E. (1976). Untersuchung über Schleuderstreuer mit Anfeuchtgeräten für straubfreies Ausbringen pulveriger Mineraldünger. Schweizer Landtechnik, Brugg, 38. évf. 7. sz. 433-440. p.
81. JEDWABINSKI Z. (1967). Badanie poprawicznego prototypu rozsiewacza zawieszanego RNZ. Kutatási jelentés. PIMR. Poznan.
82. JOHANSSON S. (1977). Vad betyder gödselmedlen och spridningen. Lantmannen, Stockholm, 98. köt. 10. sz. 28-30. p.
83. KAIFÁS F. (1975). A műtrágyaszemcsék pályagörbéinek felhasználása a szórótárcsák munkájának értékelésénél. Járművek, Mezőgazdasági Gépek. 22. évf. 12. sz. 449-452. p.
84. KAPLAN I.G. (1977). Obosznovanie dopusztimov neravnomernosztj raszszeva udobrenij. Mehanizacija i Élektifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztva, Moszkva, 1. sz. 37-38. p.
85. KASSAI ZS.-PAZSICZKI I. (1998). Röpítőtárcsás műtrágyaszórók. Mezőgazdasági Technika, 39. évf. 9. sz. 15-18. p.
86. KÄMPFE K.-GREINER K. (1986). Einfluss variirter Schleuderscheibendrehzahlen auf die Kornzerstörung bei der Mineraldüngerapplikation. Agrartechnik, 36. évf. 5. sz. 226-228. p.

87. KEGELESZ E.SZ. (1969). O proektirovanii centrobezsnüh nazbraszüvatelej. Traktorü i Szel'hozmasinü, Moszkva, 3. sz. 32-33. p.
88. KJOHL O. (1976). Product quality requirements in bulk shipment of fertilizers. ISMA Technical Conference, Hága. 144-165. p.
89. KOLBERG V.N.–KULILOV A.F.–LJUBIMOV L.D. (1968) Novüje masinü dlja vnyeszenija pülevidnüh izvesztkovüh materialov. Traktorü i Szel'hozmasinü. 9. köt. 39. sz. 37-38. p.
90. KOZLOVSZKIJ E.V.–KIJSZLER M.A. (1970). Koefficient trenija mineral'nüh udobrenij. Mehanizacija i Élektifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajisztva, Moszkva. 1. sz.43-44. p.
91. KUSILKIN B.A. (1966). Iszszledovanie centrobezsnüh razbraszüvetelej mineral'nüh udobrenij. Mehanizacija i Élektifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajisztva, Moszkva. 24. évf. 4. sz.10-15. p.
92. LEBEDEV K.G. (1970). Ob ekonomike dosztavki mineral'nüh udobrenij na polja. Zapiszki Leningrad-szkoe Szel'szkohozjajisztvennogo Insztituta, Leningrad-Puskin, 144.köt. Puti poveüsenija proizvoditel'noszti truda i sznizensija szebesztoimoszti produkcii, 161-163. p.
93. LUERS H. (1975). Accuracy up to the operator. Arable Farming, Ipswich, 2. köt. 7. sz. 25-26. p.
94. MARKS K. (1959). Zur Problematik der Schleuderdüngerstreuer. Landtechnische Forschung. München. 9. évf. 1. sz. 21-24. p.
95. MELLIN P.C. (1975). Drehen Sie den Düngerstreuer ab. Deutsche Landtechnische Zeitschrift, München. 26. köt. 2. sz. 79-80. p.
96. MESTERHÁZI P.Á.–NEMÉNYI M.–KOVÁCS A.–KACZ K.–STÉPÁN ZS. (2003): Development of Site-Specific Nutrient Replacement. 14<sup>th</sup> International Symposium of Fertilizers (CIEC), Fertilizers in Context with Resource Management in Agriculture. Proceedings, 288-295. p. Volume 1.
97. MESTERHÁZI P.Á. (2004). Termöhely-specifikus precíziós növénytermesztés műszaki feltételrendszere. Doktori (PhD) értekezés tézisei. Mosonmagyaróvár.
98. MIKES K. (1969). Stroje pro aplikaci prumyslovych hnojiv v Anglii. Mechanizace Zemedelstvi, Praha, 19. évf. 3. sz. 82-86. p.
99. MIKES K.–DAIDL M. (1969). Die Mechanisierung der Arbeiten mit festem Handelsdünger in der CSSR. Deutsche Agrartechnik. 19. évf. 1. sz. 16-19. p.
100. MOBERG H.A.–JOHANSSON L.E.–VIGRE P.–BERG M.–LARSSON, L.O. (1969). Handelgödselhantering. Lagring, Transport och spridning. Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala, Maddelande 330. sz. 1-57.p.
101. MORIN I. (1967). Nekotorüezakonomernoszti raszpredelnija udobrenij centrobezsnümi apparatami. Mehanizacija i Élektifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajisztva. Moszkva, 25. évf. 3. sz. 29-31. p.
102. NAZAROV SZ.I.–RUMJANCEV I.V.–DOKUCSAJEV A.A.–DOVOGOSIJ I.V. (1977). Ravnomernoe raszpredelenie tukovüh szmeszej. Technika v Szel'szkom Hozjajisztve, Moszkva. 3. sz. 27-30. p.

103. NEMÉNYI M.–PECZE ZS.–MESTERHÁZI P.Á.–KISS, E. (2002 a). Engineering Environment of Precision Crop Production. Hungarian Agricultural Engineering. 89-91.p. No. 15.
104. NEMÉNYI M.–MESTERHÁZI P.Á.–PECZE ZS.–STÉPÁN ZS. (2002 b): The Role of GIS and GPS in Precision Farming. Computers and Electronics in Agriculture. 40 (1-3): 45-55. If.: 0,39.
105. OEHRING J. (1966). Konstruktion und Streuqualität bei Schleuderdüngerstreuer. Landtechnik, München. 21. évf. 4. sz. 92-98. p.
106. PAPP L. (1978). A műtrágyaféleségek és egyéb ömleszthető áruk kiszerelési, tárolási és manipulálási lehetőségei. Járművek, Mezőgazdasági Gépek. 25. évf. 8. sz. 302-306. p.
107. PATTERSON D.E. (1964). The Effect of Slope on the Transverse Distribution Pattern of Fertilizer Broadcasters. Journal of Agricultural Engineering Research, Silsoe, 9. köt. 2. sz. 169-173. p.
108. PAULEN J. (1976). Možnosti zlepšenia kvality práce odstredivých rozhadzacov priemyselných hnojív. Mechanizace Zemedelstvi, Praha, 26. köt. 2. sz. 69-70. p.
109. PECZE ZS.-NEMÉNYI M.-MESTERHÁZI P.Á. (2001). A helyspecifikus tápanyag-visszapótlás műszaki háttere. Mezőgazdasági Technika, XLII: évf. 2. szám, 5-6. p.
110. PITT R.E.-FARMER G.S.-WALKER L.P. (1982). Approximating equations for rotary distributor spread patterns. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 25. évf. 6. sz. 1544-1552. p.
111. POLONECKIJ SZ.D.–PEREVERZEV V.D. (1969). Fiziceszkoe modelirovanie proceszsza raszszeva udobrenij centrobezsnum razbraszuvatelem. Mechanizacija i Élektifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztva. Moszkva. 27. évf. 7. sz. 45-47. p.
112. POLYÁK N. I. (2001). Búza vetőmag fizikai jellemzői. Ph.D értekezés tézisei. Debrecen, 22. p.
113. POLYÁK N.I.-CSIZMAZIA Z. (2003). The Physical Characteristics of Fertiliser Particles. XXX CIOSTA-CIGR V Congress, Turin, Management and technology applications to empower agro-food systems. ISBN 88-88854-09-6. 759-766 p.
114. PRUMMEL J.–DATEMA P. (1962). Strooiergelmat van Kunstmeststrooiers en de betekenis daarvan voor de obbrengst. Landbouwmeechanisatie. Wageningen. 9. évf. 13. sz. 742-752. p.
115. RJADNÜH V. (1965). O kacsesztve raszpredelenija udobrenij rotornüm razbraszuvatelem. Trakroü i Szel' hozmasinü, Moszkva, 10. sz. 27-29. p.
116. RUMJANCEV I.V. (1971). Osznovnünje parametrü centribezsno go razbraszuvatelja udobrenij. Mehanizacija i Élektifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztva. Moszkva. 29. köt. 1. sz. 7-9. p.
117. RUTLAND D. (1986). Manual for determining physical properties of fertilizer. Reference Manual IFDC-R-6. Muscle Shoals, AL: International Fertilizer Development Center, 91. p.
118. RÜHLE K. (1976). Düngerverteilsysteme und die Besonderheiten von pneumatischen Geräten. Landtechnik. 31. évf. 12. sz. 540-544. p.
119. RÜHLE K. (1977). Querverteilung pneumatischer Düngerstreuer. Landtechnik. 32. évf. 5. sz. 202-207. p.

- 120.SAIDL M. (1977). Indikace kvality rozmetáni tuhých prumyslových hnojiv. Mechanizace Zemedelstvi, Praha, 27. évf. 6. sz. 254-258. p.
- 121.SCHAUER A.-RAUCH N.-MARQUERING J.-CHAPPUIS A. (2003). Europäische Norm für Mineräldüngerstreuer. Landtechnik, 58. évf. 2. sz. 102-103. p.
- 122.SEDLAK F. (1970). Prumyslová hnojivá a odstředivá rozmetadla. Mechanizace Zemedelstvi, Praha, 20. köt. 4. sz. 134-136. p.
- 123.SCHÜNKE U. (1978). Düngausbringung. Landtechnik. 33. évf. 6. sz. 272-274. p.
- 124.SCHÜNKE U. (1980). Randzonenprobleme bei der Düngung. Landtechnik, 35. évf. 2. sz. 66-68. p.
- 125.SOLEYMANGOLI A.-KASZA F. (1997). Simulation of fertilizer discharge characteristics as effected by disc and vane design parameters and the particle motion on the disc. Hungarian Agricultural Engineering, 10. sz. 68-73. p.
- 126.SOÓS P.-SZÜLE ZS.-PETRÓCZKI K.-FÜLÖP I. (1997). Szemcsék pályagörbéi nehézségi erő és légellenállás hatása alatt. Mezőgazdasági Technika, 38. évf. 11. sz. 2-4. p.
- 127.SÜTŐ I. (1978). Szilárd és folyékony halmazállapotú műtrágyák szállításának, tárolásának flexibilis eszközei, módszerei. Járművek, Mezőgazdasági Gépek. 25. évf. 8. sz. 307-310. p.
- 128.SZKOL'ZAEV V.A.-CSERNOVOLOV V.A. (1969). Elementü teorih raszpredelenija udobrenij diszkovüm centrobezsnüm apparatom. Traktorü i Szel'hozmasinü, Moszkva, 2. sz. 27-29. p.
- 129.TÜL'NÜJ SZ.A. (1978). Kinematika centrobezsnogo diszka razbraszüvatelja. Mechanizacija i Életrifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztva. Moszkva. 6. sz. 13-15. p.
- 130.VELEBIL M. (1974). Analyza metod zjistovani fyzikanich vlastnosti materiálu s aplikaci na vykali. Zemedelská technika, Praha, 20. köt. 6. sz. 305-307. p.
- 131.VOJTOV P.I. (1979). Effektivnee iszpol'zovat' udobrenija. Tehnika v Szel'szskom Hozjajsztve, Moszkva. 5. sz. 8. p.
- 132.VÖLKOVI I.-VASZILEV M. (1976). Szkladove za mineralni torove i szkladova mehanizacija za uszlovijata na agrohímicseskite centrove. Szelszkozstópanszka Tehnika, Szofija, 13. köt. 1. sz. 45-52. p.
- 133.ZIMMERMANN R. (1973). Ertragsverlust durch schlechte Streuqualität fester N-Düngemittel und Möglichkeiten zur Vermeidung von Streufehlern. Feldwirtschaft, 10. sz. 463-465. p.
- 134.ZSCHUPPE H. (1968). Untersuchungen über den Einfluss der Streugenauigkeit von Düngerstreuern auf den Pflanzenertag. Archiv für Landtechnik. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Berlin. 7. évf. 1. sz. 111-120. p.

## 9. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

1. **Kőkuti A.** (1984). Ütvefúró 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 Agroforum, 12. évf. 8. sz. 70-73. p.
9. **Kőkuti A.**-Pelyva J.(2003) Nyílvános repülőterek védelme. Konferencia. Budapest.
- 10.**Kőkuti A.**-Pelyva J.(2003) Biztonságos szállítás feltételeinek kialakítása. Az úniós csatlakozás bürokráciai 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.

**A témához kapcsolódó műszaki alkotások:**

1. Tornádó 5 T és 5TM vontatott műtrágyaszóró gép fejlesztése (a gépből több mint 5000 db készült, hazánkban egyeduralkodó, fejlesztése folyamatos).
2. Tornádó 1300 függesztett műtrágyaszóró gép fejlesztése, sorozatgyártás alatt.
3. Tornádó 800 függesztett műtrágyaszóró gép fejlesztése, sorozatgyártás alatt.
4. Műtrágyaszóró gépek fejlesztéséhez 2 db modellgép kialakítása.
5. Sószóró gépek több generációjának fejlesztése.
6. Sószóró gépekhez elektrohidraulikus a tachográf digitális alapjelét felhasználó vezérlő rendszer fejlesztése.

## ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra.	A szórás egyenlőtlenség és a termés hozam kapcsolata .....	8
2. ábra.	Az egyenlőtlen műtrágyázás hatása a termés átlagra .....	10
3. ábra.	A röpitőtárcsa felületén mozgó műtrágya szemcse pályájának elemzése során alkalmazott jelölések .....	33
4. ábra.	Függesztett, röpitőtárcsás kísérleti műtrágyaszóró gép .....	55
5. ábra.	Lánchos adagolószerkezet .....	55
6. ábra.	Szalagos adagolószerkezet.....	55
7. ábra.	A fenéklemez kivágása az oszlató láncokk.....	56
8. ábra.	Résállító szerkezet a beállító skálával .....	56
9. ábra.	A műtrágyaelosztó szerkezet .....	57
10. ábra.	A sokoldalú adagolási hely állítás .....	57
11. ábra.	Kétlapátos szórószerkezet.....	58
12. ábra.	Háromlapátos szórószerkezet .....	58
13. ábra.	Eltérő hosszúságú lapátok.....	59
14. ábra.	Eltérő hátdőlésű lapátok .....	59
15. ábra.	50 m széles mérőpálya függesztett gépek vizsgálatához .....	60
16. ábra.	A gép szórás közben, 3 m-re az indulási ponttól .....	61
17. ábra.	A kísérleti gép a mérőkonzolon.....	61
18. ábra.	A mérődobozok összegyűjtése .....	62
19. ábra.	Hosszirányú szórás egyenlőtlenség mérés.....	63
20. ábra.	A röpitőtárcsa felületéhez viszonyított adagolási helyek .....	64
21. ábra.	Aszimmetrikus szóráskép .....	70
22. ábra.	Szimmetrikus szóráskép .....	70
23. ábra.	Mérés B3 adagolási hellyel.....	72
24. ábra.	Mérés B2 adagolási hellyel.....	72
25. ábra.	Ammóniumnitráttal végzett mérés .....	72
26. ábra.	Kálisóval végzett mérés .....	72
27. ábra.	Mérés 6-os adagoló állással .....	73
28. ábra.	Mérés 16-os adagoló állással .....	73
29. ábra.	A műtrágyaszemcse leválási jellemzői .....	75
30. ábra.	Szóráskép két lapáttal .....	79
31. ábra.	Szóráskép három lapáttal .....	79
32. ábra.	Szóráskép előre állított lapátokkal .....	83
33. ábra.	Szóráskép hátra állított lapátokkal .....	83
34. ábra.	Mérés 90o-os lapáttal.....	84
35. ábra.	Mérés 98o-os lapáttal.....	84
36. ábra.	Mérés 90o-os lapáttal.....	85
37. ábra.	Mérés 106o-os lapáttal.....	85
38. ábra.	Pontos fogácsolóigény.....	87
39. ábra.	Kevéssé pontos fogácsolóigény.....	87
40. ábra.	Pontos fogácsolóigény.....	88
41. ábra.	Kevéssé pontos fogácsolóigény.....	88

## TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat	A szórásegyenlőtlenség hatása a termésre különböző műtrágya mennyiségnél..	9
2. táblázat	A szórásegyenlőtlenség termés csökkentő hatása különböző növényeknél .....	10
3. táblázat	A vizsgálat során használt műtrágyák jellemzői .....	19
4. táblázat	A vizsgált műtrágyák sűrűdési jellemzői .....	24
5. táblázat	A lapátszám és a szórási szög közötti összefüggés .....	41
6. táblázat	A lapátok számának közelítő számítása .....	81

## MELLÉKLETEK

## **NYILATKOZATOK**

### **NYILATKOZAT**

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Karán az Interdiszciplináris agrár és természettudományok Doktori Iskola keretében készítettem a Debreceni Egyetem ATC MTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából

Debrecen, 2004. március 1.

.....  
jelölt aláírása

### **NYILATKOZAT**

Tanúsítom, hogy DR. KŐKUTI ATTILA doktorjelölt 2004-2005 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javasolom.

Debrecen, 2004. március 1.

.....  
témavezető aláírása