

DEBRECENI EGYETEM  
**AGRÁRTUDOMÁNYI CENTRUM**  
MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR  
FÖLDMŰVELÉSTANI TANSZÉK

MULTIDISZCIPLINÁRIS AGRÁRTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ:  
**PROF. DR. NAGY JÁNOS**  
MTA DOKTORA

TÉMAVEZETŐ:

PROF. DR. CSIZMAZIA ZOLTÁN  
PROFESOR EMERITUS

RÖPTŐTÁRCSÁS MŰTRÁGYASZÓRÓ GÉPEK MUNKASZÉLESSÉG  
NÖVELÉSÉNEK ELMÉLETI ÉS GAKORLATI ÖSSZEFÜGGÉSEI

KÉSZÍTETTE:

**ANCZA ERZSÉBET**  
DOKTORJELÖLT

**DEBRECEN**  
2005

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. BEVEZETÉS.....</b>	<b>4</b>
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....</b>	<b>6</b>
2.1. A munkaszélesség növelés célja .....	9
2.1.1. A szórás egyenlőtlenség hatása a terméseredményre.....	12
2.1.2. A szórás egyenlőtlenséget meghatározó előírások.....	19
2.2. A munkaszélességet befolyásoló tényezők .....	22
2.2.1. A műtrágyák egyes fizikai jellemzői .....	22
2.2.2. A szóró szerkezet konstrukciója .....	33
2.2.2.1. A röpítőtárcsás szóró szerkezetek fejlődésének áttekintése .....	33
2.2.2.2. A röpítőtárcsa mérete, alakja és helyzete .....	39
2.2.2.3. A röpítőtárcsa fordulatszáma .....	40
2.2.2.4. A röpítőtárcsán alkalmazott szórólapátok .....	42
2.2.3. A műtrágya mozgása a röpítőtárcsán .....	44
2.2.4. A műtrágyaszemcsék mozgása a levegőben .....	47
2.2.5. Üzemeltetési jellemzők.....	48
2.2.6. Termőhely-specifikus tápanyag kijuttatás .....	49
<b>3. ANYAG ÉS MÓDSZER .....</b>	<b>52</b>
3.1. A munkaminőségi vizsgálatokhoz használt gép leírása .....	52
3.2. A vizsgálatok módszere .....	56
3.3. A vizsgálatokhoz használt műtrágyák fizikai jellemzői .....	61
3.4. A vizsgálatok során változó jellemzők .....	63
3.5. A vizsgálatok során nem változtatott jellemzők.....	65
3.6. A beállítható adagolási helyek .....	65
3.7. Különböző lapátanyagok koptató vizsgálata.....	66
3.7.1. A koptató vizsgálathoz használt berendezés ismertetése .....	66
3.7.2. A vizsgált lapátanyagok.....	68
3.7.3. A koptató anyag .....	68
<b>4. EREDMÉNYEK.....</b>	<b>69</b>
4.1. Elméleti összefüggések az adagolási hely, a szórólapátok beállítási szöge és a szórás szélesség között.....	69
4.2. A szórás szélesség és a munkaszélesség alakulása az adagolási hely függvényében.....	79
4.3. A lapátok beállítási szögének hatása a szórás szélesség és a munkaszélesség nagyságára ...	84
4.4. A szórólapátok hosszának megválasztási szempontjai, különös tekintettel a munkaszélesség növelésre .....	87

<b>4.5.</b>	<b>A lapátok számának hatása a szórás- és munkaszélességre, valamint a szórás egyenlőtlenségre.....</b>	<b>89</b>
<b>4.6.</b>	<b>A nagy munkaszélesség szempontjából optimális műtrágya jellemzők meghatározása .....</b>	<b>92</b>
<b>4.7.</b>	<b>A szórólapátok anyagmegválasztásának szempontjai.....</b>	<b>97</b>
4.7.1.	Munkaminőség romlás kopott felületű szórólapátok alkalmazása esetén.....	97
4.7.2.	Különböző anyagú lapátok koptatóvizsgálatának eredménye .....	99
<b>5.</b>	<b>KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....</b>	<b>102</b>
<b>6.</b>	<b>ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>105</b>
<b>7.</b>	<b>ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....</b>	<b>107</b>
<b>8.</b>	<b>A GYAKORLATBAN FELHASZNÁLHATÓ EREDMÉNYEK.....</b>	<b>108</b>
<b>9.</b>	<b>IRODALOMJEGYZÉK.....</b>	<b>109</b>
<b>10.</b>	<b>AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK....</b>	<b>123</b>
<b>11.</b>	<b>MELLÉKLETEK.....</b>	<b>126</b>

## 1. BEVEZETÉS

Hazánk természeti adottságainál fogva alapvetően mezőgazdasági jellegű ország. Elképzelhetetlen, hogy a mezőgazdasági termelés hazánk gazdasági életében valamikor is ne játszana döntő szerepet. A mezőgazdaságon belül napjainkban a növénytermesztés szerepe a nagyobb. A magas színvonalú növénytermesztés elengedhetetlen eleme a tudományos alapokon nyugvó növényi tápanyagellátás.

A talaj tápanyag-ellátottságának döntő hatása van a termesztett növények termésének mennyiségére és minőségére. A korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló szerves trágya mellett a korszerű növénytermesztési technológiákban elkerülhetetlen a műtrágyák alkalmazása. A hatóanyagok (N, P, K) talajállapot és növényi kultúrák által meghatározott mennyisége és aránya mellett környezetvédelmi szempontból is egyre nagyobb jelentőséggel bírnak a kijuttatás minőségi mutatói, amelyek megfelelő szintű biztosítása ma már alapvető követelmény a műtrágyaszóró gépekkel szemben.

A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépeket mind a hazai gyakorlatban, mind világviszonylatban a legelterjedtebben használják. Nagyarányú elterjedésüket sokrétű alkalmazhatóságuk, egyszerű szerkezeti kialakításuk, és csekély karbantartási igényük mellett az egyszerű, könnyen elsajátítható kezelhetőségük és alacsony áruk tette lehetővé.

A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek területteljesítménye alapvetően két tényezőtől függ: haladási sebességüktől és munkaszélességüktől.

A haladási sebesség növelésének egyrészt vannak konstrukciós, üzemeltetési és energetikai korlátai, másrészt az irodalom áttekintése után megállapítható, hogy e kérdéskör kellően tisztázott. A továbbiakban mindezek miatt a munkaszélesség növelésének kérdéskörével foglalkozom.

A munkaszélesség növelésével csökken a talajtaposás és az üzemeltetési költség, ugyanakkor csökken az egységnyi területre eső csatlakoztatási felület, ezáltal pedig a szórás egyenlőtlenség.

Az egyenetlen műtrágya-kijuttatás következtében romlik a termények minősége, csökken a hozam, nő a betakarítási veszteség, csökken a gépi munkák hatékonysága.

A jelen dolgozatban ismertetett vizsgálatok elsődlegesen a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek szóró szerkezetének fenti szempontok alapján legfontosabbnak ítélt paramétereinek közötti összefüggéseket igyekeztek feltárni. A vizsgálatokat nem lett volna célszerű egyetlen műtrágya típusra korlátozni, hiszen a gyakorlatban valamennyi műtrágya azonos fontossággal bír, és ezek bizonyos fizikai tulajdonságai esetenként lényegesen befolyásolják a vizsgálati eredményeket.

A munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre gyakorolt hatásuk szempontjából a következő tényezők játszanak szerepet:

- A műtrágya típusa, illetve egyes fizikai jellemzői
- A műtrágyaáram nagysága
- A műtrágya adagolási helye a röpitőtárcsa felületén
- A szórólapátok száma
- A szórólapátok hossza
- A szórólapátok alakja
- A szórólapátok sugáriránnyal bezárt szöge
- A röpitőtárcsa talaj feletti magassága
- A röpitőtárcsák tengelytávolsága
- A röpitőtárcsák fordulatszám
- A röpitőtárcsák átmérője, alakja (sík vagy kúpos)
- A röpitőtárcsák dőlésszöge.

Fenti tényezők közül kutatómunkám során vizsgáltam a műtrágya típusának, illetve egyes fizikai jellemzőinek, a szórólapátok számának, hosszának, sugáriránnyal bezárt szögének, valamint a műtrágya adagolási helyének hatását a munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre. A többi tényező a mérések során állandó volt.

Nem vizsgáltam az adagolószerkezet megoldását, de a mérések folyamán rendszeresen ellenőriztem az adagolás egyenletességét.

A méréseket a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Kar Géptani Tanszékén létesített vizsgálóbázison végeztem, mely szabadban végezhető mérésekre nyújt lehetőséget. Konstruktív jellegű vizsgálatoknál legcélszerűbb a laboratóriumi körülmények biztosítása, vagy annak megközelítése. Ennek megfelelően a környezeti tényezők (talajegyenletlenség, szél, páratartalom) hatását igyekeztem kizárni, vagy mérsékelni.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A terméseredmények fokozása érdekében a műtrágyák alkalmazásával kapcsolatos kísérletek már a 17. században megkezdődtek, azonban a 19. századig nem volt jelentős a felhasználásuk. A szuperfoszfát gyártása 1842-ben kezdődött, majd 1860-tól már kálisót is használtak. Az első nitrogénműtrágya alkalmazása- guano és egyéb szerves anyagok formájában- a 19. század vége felé történt. A 20. század elején már levegőből állítottak elő nitrogénműtrágyát, és felhasználása a század során egyre nagyobb méreteket öltött (*Csizmazia, 2004*).

Nyugat-Európa országaiiban a műtrágya gyártása és felhasználása 1978-ra, hatszorosára emelkedett az 1950-es értékekhez viszonyítva, majd 1983-ig, bár kisebb mértékben, de tovább nőtt, majd kisebb visszaesés következett be. (*Hofstee, 1993*)

Az első műtrágyaszóró gépek Európában a 19. század végén jelentek meg, és ugyanakkorra tehető a röpítőtárcsás gépek megjelenése is, bár piaci részesedésük az 1950-es évek elejéig alacsony volt. Ennek fő oka az volt, hogy nem vették figyelembe a műtrágyák fizikai jellemzőinek és egyéb tényezőknek (pl. szél, haladási sebesség) a hatását a kijuttatás minőségére, ezért az első eredmények lehangolóak voltak. A műszaki fejlesztés és bizonyos állítási lehetőségek biztosítása lehetővé tette a röpítőtárcsás műtrágyaszórók munkaminőségének javulását, ezáltal nagyarányú elterjedését. Kezdetben egytárcsás gépeket gyártottak, és csak jóval később, a hetvenes években jelentek meg a kéttárcsás gépek (*Hofstee, 1993*).

Hazánkban a röpítőtárcsás gépek bevezetése a rendkívül rossz paraméterekkel rendelkező RCW-3 típusú géppel történt. A gépet Nyugat-Európában már mész szórására sem tartották alkalmasnak, és ez a gép lett Kelet-Európa vezető műtrágyaszóró gépe. Javított a hazai helyzeten, amikor megjelent a Tornádó 5T traktorvontatású és a Tornádó 5 teherautóra szerelt kéttárcsás műtrágyaszóró gép. További pozitív változást eredményezett ezek módosított, továbbfejlesztett változatainak forgalomba kerülése (Tornádó 5TM, Tornádó 5M). Ezekkel a gépekkel 20 méter munkaszélesség mellett elérhető volt a szabványban akkor meghatározott 20 %-ál kisebb szórás egyenlőtlenség (*Csizmazia, 2004*).

Ma világviszonylatban a szilárd műtrágyák döntő hányadát röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépekkel juttatják ki. Az elmúlt két évtizedben, hazánkban is jelentős változások következtek be: korszerű, nagy munkaszélességű, és pontosan szóró gépek kerültek be

külföldről. A hazai fejlesztések is pozitív változásokat eredményeztek, bár még sem munkaszélesség, sem a kijuttatás egyenletessége tekintetében nem versenyezhetünk nagy múltú, nyugat - európai gépgyártók termékeivel.

Az irodalom feldolgozás részletes ismertetése előtt célszerű meghatározni a dolgozatban gyakran használt fogalmakat.

**Adagolás egyenlőtlenység:** A gép adagoló szerkezetének minősítésére használt érték, az adagolószerkezeten azonos időközönként átfolyó műtrágya tömegének változásából számított hiba.

**Adagolási felület:** A műtrágyaáram által, az adagolás pillanatában érintett röpitőtárcsa felület

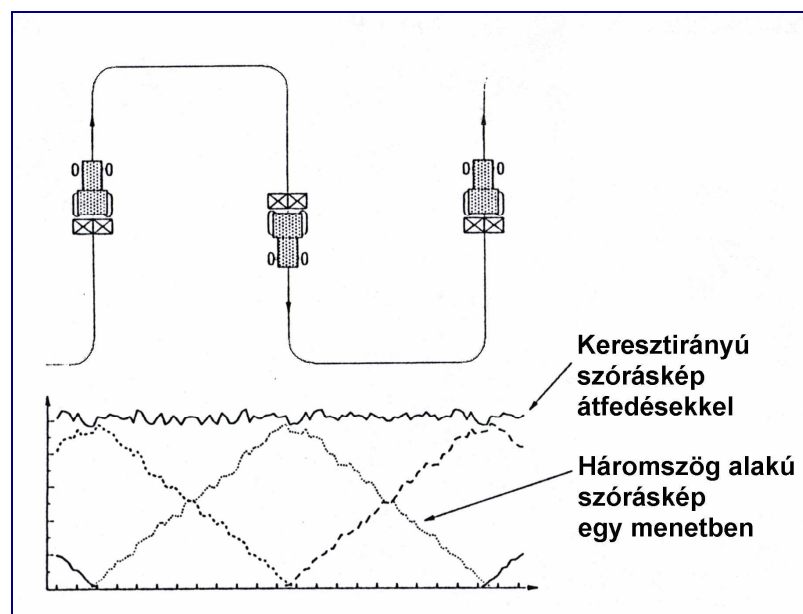
**Adagolási hely:** A röpitőtárcsa felületén az a pontszerűnek feltételezett hely, ahová a műtrágyaszemcsék érkeznek az adagolószerkezetből.

**Általános szórás kép:** A műtrágyaszóró gép által egy menetben beszórt felületen a műtrágya eloszlását jellemző térforma.

**Hosszirányú szórás kép:** Az általános szórás kép hossziránnyal párhuzamos metszete

**Keresztirányú szórás kép:** Az általános szórás kép haladási irányra merőleges metszete.

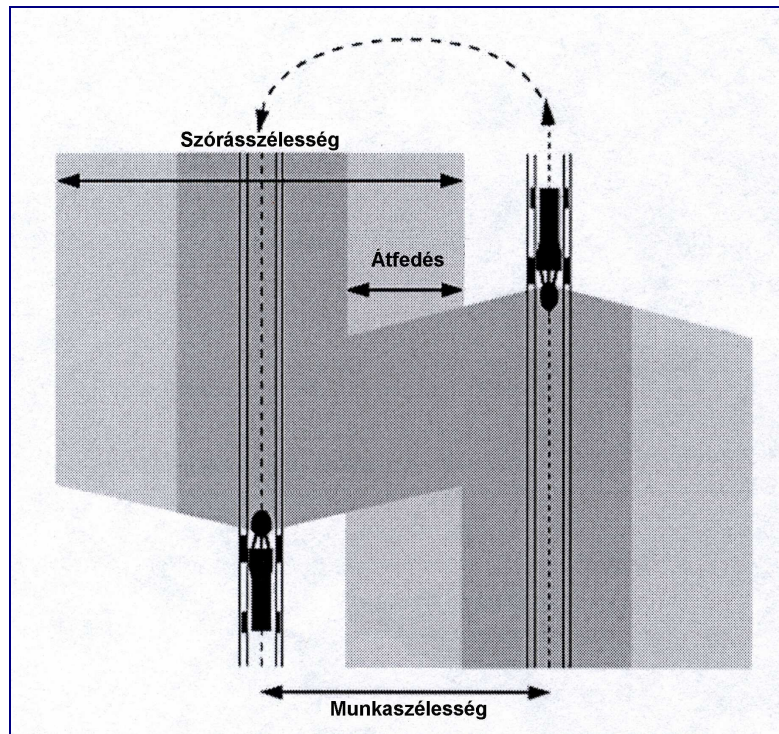
(1. ábra).



1. ábra. A keresztirányú szórás kép értelmezése

**Kritikus sebesség:** Az a légsebesség, amelynél adott paraméterekkel rendelkező szemcse lebeg a légáramban.

**Munkaszélesség:** A szórásszélességnek az optimális/elfogadható szórás egyenlőtlenséghez tartozó átfedésekkel csökkentett értéke. Tényleges műtrágyaszóráskor ilyen távolságonként kell a gépcsoportnak a táblán visszafordulnia (2. ábra).



2. ábra. A szórásszélesség és munkaszélesség értelmezése

**Röpítőtárcsás műtrágyaszóró gép:** A mechanikus elven működő, szilárd műtrágyák kijuttatására alkalmas gépek közül azok, amelyek a műtrágyaszemcséket függőleges tengely körül forgó tárcsá(ko)n elhelyezett lapátok segítségével a centrifugális erő hatására röpítik a levegőbe.

**Szemcseméret:** A műtrágyaszemcse három, egymásra merőleges méretének átlaga.

**Szórás egyenletesség:** A talajfelszínre szórt műtrágya eloszlásának általános értelmezése.

**Szórás egyenlőtlenség:** A műtrágyaeloszlás egyenlőtlenségének a variációs koefficienssel meghatározott értéke (VK%, vagy CV%)

**Szórásgörbe:** A keresztirányú szórásképek különböző mértékű átfedése eredményeként kapott munkaszélesség - szórás egyenlőtlenség összefüggést ábrázoló görbe.

**Szórás szélesség:** A műtrágyaszóró géppel egy menetben beszórt terület szélessége.

**Tömegáram:** A gép adagolószerkezetén egységnyi idő alatt átáramló műtrágya tömege.

## **2.1. A munkaszélesség növelés célja**

A munkaszélesség növelésével csökken az egységnyi területen megtett út hossza, melynek következtében csökken a taposási kár, az üzemanyag-felhasználás és környezetszennyezés, ugyanakkor csökken az egységnyi területre eső csatlakoztatási felület. A csatlakoztatási felület csökkenése a munkaszélesség pontatlan megítéléséből eredő fogáscsatlakoztatási hibát csökkenti.

A munkaszélesség helytelen megítélése származhat az adott műtrágyához tartozó munkaszélesség ismeretének hiányából, ami megfelelő adagoló és beállító táblázat hiányára utal. Az is előfordulhat, hogy ismert és megkívánt munkaszélességet szórás közben helytelenül becsüli meg az üzemeltető. A helyes átfedést, 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 röpitőtárcsás 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.

A műtrágyaszóró gépek munkaszélességét úgy kell megválasztani, hogy a keresztirányú szórás egyenlőtlenség a megengedett értéket ne haladja meg (Kaplan, 1977). A fogásszélesség a munka folyamán állandóan változik, ami lényeges hatást gyakorol az említett egyenlőtlenségre.

A munkaszélességet csak a pontos csatlakoztatást segítő eszközök, módszerek valamelyikével lehet betartani, egyébként a fogásszélesség a munka folyamán állandóan változik. Egyéb segédeszköz híján a táblaszéli kitűzés alkalmazása is megoldás (Kaplan, 1977). számításai szerint a gépek munkaszélességének variációs tényezőjét 10%-alatt kell 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 röpítőtárcsás 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 habpamacskok fölött fényérzékelő cellák vezessék.

Ugyancsak javasolták a tábla szélén akkumulátorral üzemeltetett jelző kocsit, melybe a csatlakoztatási távolságokat be lehet programozni. A kocsi irányítása a traktor vezetőfülkéjéből rádióadó segítségével történik. A jelző kocsi 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 óta alkalmaznak 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 fentieken túl a kettős növény kiküszöbölését, a kezelés nagyobb teljesítménnyel történő elvégzését, valamint a kezelések magasabb állomány melletti elvégzését említették.

A művelő út alkalmazása hozamnövekedést és a termény minőségének javulását eredményezte (*Bruckhardt, 1980; Csizmazia, 1980 b*). Megállapították, 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 m-es munkaszélességnél 5 % területkiesést jelent. Megengedhetőnek tartották, hogy korai tavaszi kezelésnél a kerék szélessége a nyomszélességet meghaladja. Az állomány növekedésével az alacsonynyomású kerekeket javasolták keskenyebb gumibroncsokkal felcserélni. A szántóföldi gépek teljesítménye, vizsgálataik szerint, a művelő út alkalmazásával 8 %-kal nőtt. Hasonló megállapításokra jutott *Heymann (1980)*.

*Schünke (1980)* megállapította, hogy művelő utas rendszerrel, jó konstrukciójú röpitőtárcsás 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 körbeművelési 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) támogatással 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 fényávval (led sor) jelezheti. A rendszer érzékenysége szabályozható, így beállítható, hogy a két egymás melletti fényforrás milyen valószínűségi eltérést jelentsen (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 haladási 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.

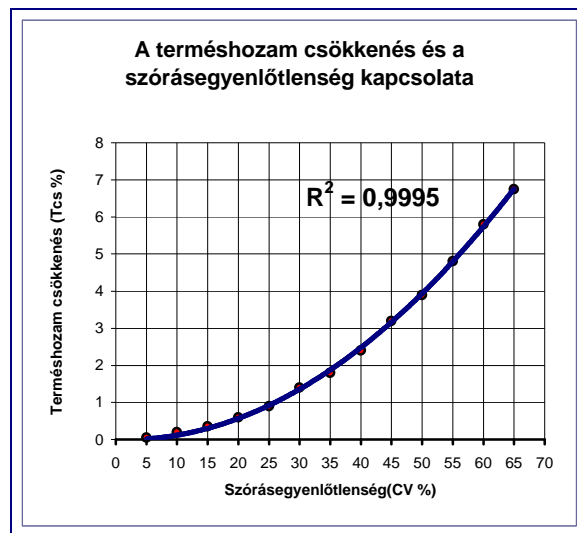
A párhuzamosan vezető rendszerrel elérhető vezetési pontosság és ezzel a felesleges átfedések okozta többlet műtrágya felhasználás elmaradása következtében, a rendszer bevezetésének költsége néhány kezelés után megtérül, tehát a megtérülési idő egy éven belüli. Nem beszélve arról, hogy a rendszer alkalmazásának begyakorlásával a pontosság javítható. Érdeemes 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, sötétben éppúgy biztonságos irányítást tesz lehetővé, mint ködben. Alkalmazásával kiterjeszthető tehát a kezelés ideje.

Mindezek tükrében fontos még egyszer hangsúlyozni, hogy a nagy munkaszélességben szóró gépekkel jelentősen csökkenthető a területegységre eső csatlakoztatott felület nagysága, és ezzel az ebből eredő szórás egyenlőtlenség.

### **2.1.1. A szórás egyenlőtlenség hatása a termés eredményre**

Az egyenlőtlen műtrágya kijuttatás csökkenti a hatóanyag hasznosulását, gátolja a növény egyenletes fejlődését, csökkenti a terméshozamot és rontja a termények minőségét. A kutatók ezeket a tényeket már évtizedekkel ezelőtt felismerték, és széleskörű vizsgálatokat végeztek a termés csökkentő hatás mértékének megállapítására. A vizsgálatokat általában nitrogén műtrágyával végezték, hiszen közzismert, hogy ezek egyenlőtlen kijuttatása a legkritikusabb 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.

*Prummel és Datema* a szórás egyenlőtlenség és a terméshozam összefüggését általánosan fogalmazták meg (1962). Három növényenél (kalászos 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 is alkalmazott tányéros, röpitőtárcsás és lengőcsöves műtrágyaszóró gépet használtak. A szélsőséges értékek biztosításához pótkocsiról lapáttal, valamint kézzel történő szórás is alkalmaztak. A kontrollként alkalmazott egyenletes kijuttatást gondosan végzett kézi szórással biztosították. A vizsgálat előtt meghatározták a különböző kijuttatási módok várható szórás egyenlőtlenségét. A vizsgálat során alkalmazott kijuttatási módok ennek megfelelően 11 és 97% közötti szórás egyenlőtlenség értéket képviseltek. A szórás egyenlőtlenség termés csökkenő hatását diagramon ábrázolták (3. ábra).



**3. ábra. A terméshozam csökkenés és a szórás egyenlőtlenség 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 lineárisává 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 hozam csökkenést, 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 képes kiegyenlíteni 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 termés kihatását 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 egyenlőtlenségénél 2,66 t/ha, 20-30%-os szórás egyenlőtlenségénél 2,50 t/ha, míg 50-70%-os szórás egyenlőtlenségénél 2,15 t/ha volt. A 20% feletti szórás egyenlőtlenséget megdőlt sávok is jelezték.

Zimmermann (1973) vizsgálatait őszi búza nitrogén műtrágyázása esetén, vályog talajon, öntözés nélkül végezte (1. táblázat, 4. ábra), és megállapította, hogy a szórás egyenlőtlenség termés csökkenő hatása a műtrágya mennyiség nagyságának is függvénye és a mennyiség növelésével fokozódik.

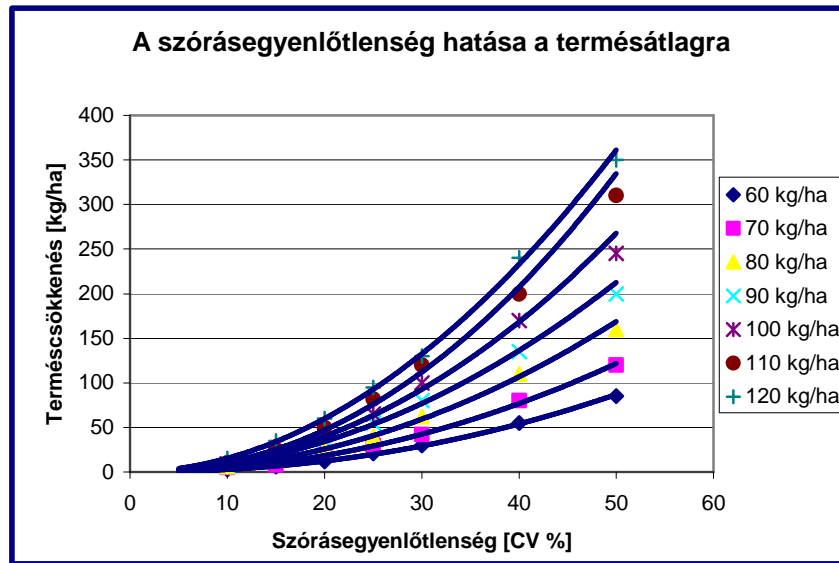
**1. táblázat A szórás egyenlőtlenség hatása a termésre különböző műtrágyaadagoknál**

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.

A vizsgálatba vont növényfajták számának növelésével tovább általánosította a szórás egyenlőtlenség és termés hozam összefüggését. Megállapította, hogy a műtrágya

egyenlőtlen kiszórása különösen kedvezőtlenül hat a kalászos gabonafélék mellett a burgonya és a füves keverék terméseredményére (2. táblázat).



**4. ábra. Az egyenlőtlen műtrágyázás hatása a termésátlagra különböző műtrágyamennyiségeknél**

A táblázatból kitűnik, hogy 30-50% körüli szórás egyenlőtlen 5-10% terméscsökkenést okoz. Ez a szórás egyenlőtlen érték becslés szerint megfelel a ma hazánkban gondatlanul elvégzett műtrágyaszórás egyenlőtleniségének. Ennek terméskihatása már nagyon jelentős.

**2. táblázat A szórás egyenlőtlen terméscsökkentő hatása különböző növényeknél**

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 terméseredményre 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 nitrogén hatóanyagú műtrágyák egyenletes kijuttatása a legfontosabb (Rühle, 1976). Azonos következtetésre jutottak a kutatók abban is, hogy a műtrágyamennyiség növelésével a szórás egyenlőtlenség termés csökkentő hatása nő. Ez a hatás fokozódik, amennyiben a kiszórt műtrágyamennyiségek szélső értékeinek különbsége nagy, továbbá, ha a legnagyobb és legkisebb mennyiségek térben távol esnek egymástól. Ellenkező esetben hatásos kiegyenlítés figyelhető meg. Zschuppe (1968), vizsgálatai alapján javasolta, hogy a műtrágyaszóró gépekkel szemben támasztott agrotechnikai követelményekben a szórás egyenlőtlenség megengedhető felső határa nitrogén műtrágyáknál 20%, egyéb műtrágyáknál és mész szórásánál 30% legyen.

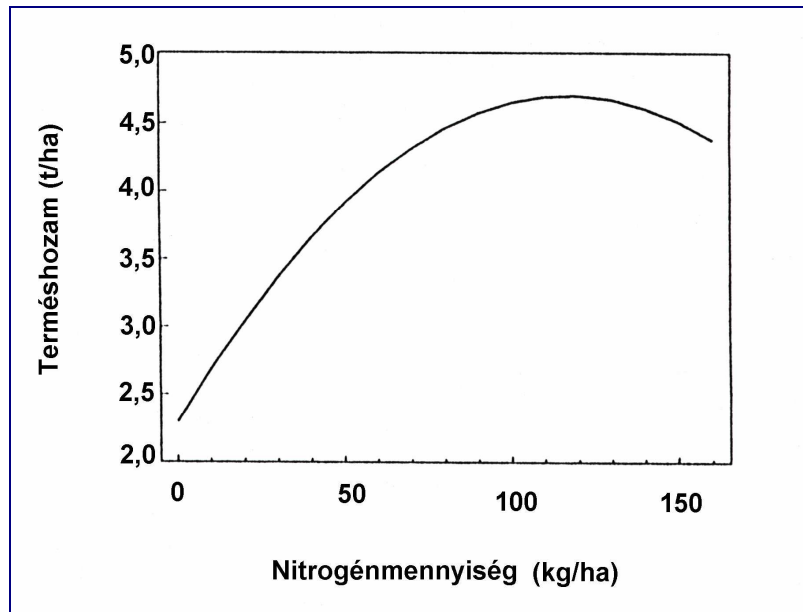
Saidl (1977), is a nitrogén műtrágya egyenetlen kijuttatása eredményeként bekövetkező termés csökkenést találta a legszembetűnőbbnek. 20%-os szórás egyenlőtlenségénél 5%-os, míg 40%-os szórás egyenlőtlenségénél 10%-os hozamcsökkenést tapasztalt. A termés csökkenésen túl az egyenetlen kiszórás a növényzet megdőlését is előidézi, mely a betakarítás során okoz további veszteséget. Így az összes veszteség elérheti a 30%-ot.

Schünke (1978), kedvezőtlen fizikai jellemzőkkel rendelkező nitrogén műtrágyával végzett vizsgálatokat kalászos gabonában. A kijuttatás egyenlőtlensége 30% volt, melynek termés csökkentő 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) termesztett gabonánál is gazdaságossá teszi pontosan szóró gépek beszerzését.

Vojtov (1979) évtizedeken keresztül vizsgálta a műtrágyaszórás egyenlőtlenségének hatásait. Megállapította, hogy a műtrágyák nem egyenletes elosztása a hozamcsökkenésen túl minőségromlást is okoz. Burgonya nitrogén műtrágyázási kísérletben, a szórás egyenlőtlenséget 21%-ról 87%-ra növelve, a termés hozam 23,6 t/ha-ról 17,3 t/ha-ra csökkent. A 87%-os szórás egyenlőtlenséggel kiszórt műtrágyánál a termés 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 termés hozam növekedésnél megtérül.

Sogaard - Kierkegaard (1994) a szórás egyenlőtlenség nettó profitra gyakorolt hatását elemezték. Abból indultak ki, hogy tápanyag ellátottság szempontjából, homogén talaj

esetén a teljesen egyenletes műtrágyaeloszlás lenne a kívánatos. Vizsgálták a nitrogén műtrágya mennyiség hatását a terméseredményre. Megállapították, hogy a túlzott műtrágyázás termésnövekedést eredményez (**5. ábra**).



**5. ábra. A felhasznált nitrogénmennyiség és a terméshozam összefüggése**

A továbbiakban egyenlettel írták fel a terméshozamhoz tartozó árbevétel és a nitrogén ellátás összefüggését:

$$r(x) = r_d - A \times (x - x_d)^2$$

1. egyenlet

ahol:

$r(x)$ : tetszőleges,  $x$  [kg N/ha] nitrogén ellátottságnál kapott terméshozamhoz tartozó árbevétel,

$r_d$ : maximális terméshozamnál jelentkező árbevétel, amely  $x_d$  [kg N/ha] mennyiséggel érhető el.

A paraméter értékét a fenti összefüggés segítségével határozhatjuk meg, ha az egyenlet bal oldalára a műtrágyázás nélkül elérhető termésmennyiséghez tartozó árbevételt,  $r_0$ -t írjuk be.

Az egyenlethez tartozó parabola látható a **6. ábrán** ( $r(x)$ ). Ha a betakarított termésmennyiséghez tartozó árbevételből kivonjuk a műtrágya felhasználással járó költségeket, akkor megkapjuk a tiszta hasznot.

Mivel a műtrágyázás költsége egyenesen arányos a kijuttatott mennyiséggel ( $n(x)$ ), a nettó profitot is parabolával ábrázolhatjuk ( $f(x)$ ).

$$f(x) = r(x) - n(x) = f_n - A \times (x - x_n)^2$$

2. egyenlet

ahol:

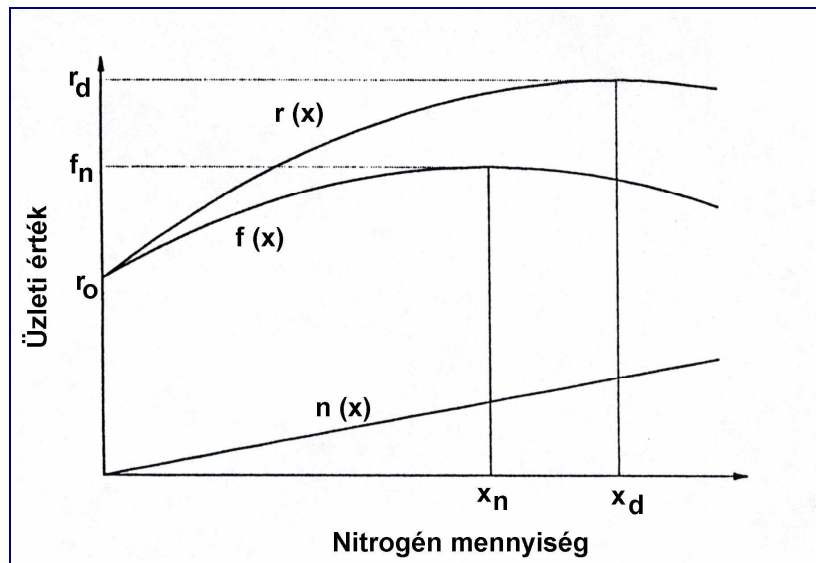
$$x_n = x_d - \frac{a}{2A}$$

3. egyenlet

$$f_n = r_d - A \times (x_d^2 - x_n^2)$$

4. egyenlet

ahol  $a$  a műtrágyázás költségét ábrázoló egyenes meredeksége.



**6. ábra.** A nettó árbevétel alakulása a kijuttatott nitrogén mennyiség függvényében

A műtrágya mennyiség változását a CV% értékkel hozták kapcsolatba és azt a végső következtetést vonták le, hogy 15% alatti szórás egyenlőtlenség esetén a relatív nettó profit csökkenés 1% közelében marad, ami nagyon szerénynek mondható. Mindezek alapján nem javasolják, hogy a gazdák drága, igen jó minőségi mutatókkal rendelkező

gépeket vásároljanak, mivel az elérhető hektáronkénti termésátlag-növekedés meglehetősen kicsi lesz.

*Sárvári (2004)* vizsgálta a műtrágyázás és különböző kukorica hibridek termése közötti összefüggést, és szoros összefüggést talált a felhasznált hatóanyag [kg/ha] és a termés [t/ha] között.

Hat különböző –eltérő genetikai tulajdonságú – kukorica hibrid termőképességét kontroll (műtrágyázás nélkül) és N 40, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 25, K<sub>2</sub>O 30 kg/ha hatóanyag alapkezelésnél és ennek öt különböző adagjánál vizsgálta, három különböző vetésidőben.

Optimális műtrágya hatóanyagot [kg/ha] állapított meg a termésképző elemek szempontjából. Ez a legtöbb hibridnél vetésidőtől függetlenül a N 120, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 és K<sub>2</sub>O 90 kg/ha volt. Megkésett vetésidőben vetett hibridnél a legnagyobb N 200, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 123 és K<sub>2</sub>O 150 kg/ha hatóanyag volt optimális.

Több kukorica hibridnél szoros kapcsolatot állapított meg a nitrogén műtrágyázás és a szem fehérje tartalma között *Sárvári (2002)*.

Egyenlőtlen műtrágyaeloszlás esetén tehát várható, hogy egyenlőtlen lesz a termés mennyisége és minősége is.

A fentiek alapján elmondható, hogy meggyőző vizsgálatok egész sora hívta fel a figyelmet már a 60-as évektől kezdve a szórás egyenlőtlenség és a terméshozam szoros összefüggésére. Rámutattak arra, hogy a műtrágya mennyiségével a szórás egyenlőtlenség termés-csökkentő hatása fokozódik. Emellett az egyenlőtlenül kiszórt műtrágya rontja a termények minőségét, csökkenti a betakarító gépek hatékonyságát, növeli a betakarítási veszteségeket, csökkenti a profitot. Nem véletlen, hogy a 80-as, 90-es években lendületet kapott a műtrágyaszóró gépek fejlesztése külföldön és itthon egyaránt (*Csizmázia, 1986a, b, 1987; Csizmázia - Demes, 1990*).

### **2.1.2. A szórás egyenlőtlenséget meghatározó előírások**

Ma a tápanyagok döntő többségét teljes felületre szórással juttatják ki. A műtrágyaszóró gépek haladás közben, a gép jellemzőiből adódó, meghatározott szélességű, összefüggő sávban szórják szét a műtrágyát. A röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek sajátossága, hogy a szórási szélességben a műtrágya eloszlása nem egyenletes, a szórási sáv két szélén a műtrágya kevesebb, középen több. Ezért, a különbségek kiegyenlítése érdekében a gépeket átfedéssel kell üzemeltetni (**1., 2. ábra**).

A műtrágyaszóró gépek munkaminőségét hagyományosan mérőcsarnokokban, szabványban meghatározott módszer segítségével értékelik. Az eljárás lényege, hogy a gép haladási irányára merőlegesen egy sor mérőtálcát helyeznek el a talajfelszínen.

A szórás pontosságáról akkor kapnánk hű képet, ha a gép teljes szórásszélessége, valamint a mérőterület hossza által meghatározott felületen szorosan egymás mellé mérőtálcákat helyeznénk el, és a felfogott műtrágya mennyiség alapján határoznánk meg a gép általános szórás képét. Ez a vizsgálati módszer azonban nagyon munkaigényes lenne, ezért Európa szerte elfogadott módszer, hogy a keresztirányú- és a hosszirányú szórás képet 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, nagyobb, mint a szabványban megengedett érték.

A fenti okok miatt, ha általánosan fogalmazva a műtrágyaszóró gépek szórás egyenlőtlenségéről esik szó, akkor ez a gép kereszt és hosszirányú szórás egyenlőtlenségére egyaránt vonatkozhat, azonban a gépek munkaminőségének értékelésére ma elsősorban a keresztirányú szórás egyenlőtlenséget használják. Ezt tekintik az egyik legfontosabb mutatónak, melynek ismeretében a különböző gépek összehasonlíthatók.

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 nitrogén hatóanyagú műtrágyákkal kapcsolatban azonban gyakran megszorításokat írtak elő és a 10-15%-os szórás egyenlőtlenséget, mint felső határt követelték meg (*Luers, 1975; Paulen, 1976*). Ugyanakkor a mész kijuttatásánál és esetenként a nem nitrogén 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 adatok a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépekre érvényesek, ugyanakkor eltérő értéket határoztak meg a teljes szélességben szóró és a pneumatikus gépekre. Ezeknél a gépeknél a 10-15%-os szórás egyenlőtlenség volt a legnagyobb megengedett érték (Rühle, 1977).

A megengedhető legnagyobb szórás egyenlőtlenség meghatározásánál döntő szempont volt, hogy a rendelkezésre álló, valamint a fejlesztés alatt álló gépek milyen szórás egyenlőtlenség elérésére 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 paramétereiket, és a felhasználók a szórás előtt a gépeiket kalibrálni kénytelenek. Az előírt keresztirányú eloszlási követelményeket a gépeknek normál szórásban éppúgy teljesíteni kell, mint szélszórásnál. A szél- vagy határszórásnál most jelentkeznek először szigorú előírások. Ennek értelmében a táblaszélén, 5 m-es szélességében, a kijuttatott mennyiség nem lépheti túl a normát 20%-al. 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 az 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.

## **2.2. A munkaszélességet befolyásoló tényezők**

### **2.2.1. A műtrágyák egyes fizikai jellemzői**

Az utóbbi években jelentősen megnőtt az érdeklődés a műtrágyák fizikai jellemzői iránt. Ennek oka, hogy míg a hagyományos, teljes szélességben szóró gépek (láncos, csigás, tányéros) kevésbé voltak érzékenyek a műtrágyák minőségére, munkaszélességük nem függött a műtrágyák fizikai jellemzőitől, addig a centrifugális elven működő (röpítőtárcsás, lengőcsöves) műtrágyaszóró gépek munkaszélességét és szórás egyenlőtlenségét egyaránt befolyásolják (*Rutland, 1986*).

A műtrágyák fizikai jellemzői közül a szemcsék mozgását a röpítőtárcsán és a levegőben közvetlenül az alábbiak befolyásolják:

- a szemcseméret, szemcseméret-összetétel
- súrlódási jellemzők
- visszapattanási tényező

- légellenállás
- szemcseszilárdság.

A műtrágyák további fizikai jellemzői (sűrűség, alak, nedvességtartalom, stb.) abban a folyamatban játszhatnak szerepet, amíg a műtrágya a gyártótól a szóró géphez jut. Ide sorolható a tárolás, csomagolás, szállítás, stb.

### **Méret, szemcseösszetétel**

A szemcseméret és szemcseméret-összetétel nagymértékben befolyásolja a műtrágyaszemcsék mozgását, különösen a levegőben.

A vizsgálatok az alábbiakra terjedtek ki:

- a legkisebb és a legnagyobb szemcseméret
- a közepes szemcseméret
- a szemcseméret szórása

*Hofstee (1990)* meghatározása szerint a szemcseméret mérőszáma annak a rostának a milliméterben mért nyílásméretével egyenlő, amelyen nem esik át.

*Hollmann és Mathes (1962)*, az 1,5 mm-es átlagos szemcseméretet tartották a megengedhető alsó határnak. Véleményük 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 (*Bésán et al., 1982*) a munkaszélesség szempontjából kedvezőtlenek, mivel a porszerűnek tekinthető anyagok repülési távolságát döntően nem a szóró szerkezet jellemzői, hanem szemcseméretük határozza meg (*Hollmann - Mathes, 1962; Rjadnüh, 1965*). A porszerű műtrágya érzékeny a szélre, a gép adagolószerkezetében technológiai zavarokat idéz elő. Szél hatására jelentős veszteségek is keletkezhetnek, aminek mértéke a 40-50%-ot is elérheti (*Mikes-Daidl, 1969*).

A kedvező szemcseméret tekintetében találkozunk a fentiektől 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 a közepes szemcseméret 2,8-3,2 mm között legyen.

Hofstee (1990) szerint a mezőgazdaságban alkalmazott szilárd műtrágyák szemcseméretének felső határa 4 és 4,75 mm között van, mely elsősorban a gyártási folyamatnak tudható be. Ugyanakkor felhívja a figyelmet arra a jelenségre, hogy nagyméretű műtrágyaszemcsékkel nem biztosítható a tápanyagok egyenletes eloszlása a talajban.

Fentiek alapján törekedni kell arra, hogy a felhasználni kívánt műtrágya a lehető legkisebb arányban tartalmazzon 1 mm-nél kisebb és 4 mm-nél nagyobb méretű szemcséket. Ez elsősorban állagmegóvással biztosítható, mivel a gyári állapotú műtrágyák elvileg nem tartalmazhatnak ilyen méretű szemcséket.

Szilárd műtrágyák szemcseméretének alsó és felső határán kívül fontos lehet a közepes szemcseméret és a szemcseméret szórása.

Egy adott műtrágya szemcseméret összetétele leggyorsabban szitaanalízissel állapítható meg. Ilyenkor a szemcsehalmazból vett mintát különböző lyukméretű sziták alkalmazásával méretfrakciókra bontjuk, majd tömegméréssel, illetve számítással meghatározzuk az egyes frakciók százalékban kifejezett arányát a halmazban.

A mérés eredményét a szemcsemegoszlási görbe vagy szitamaradék görbe szemlélteti, melyből könnyen leolvasható a szemcsehalmaz közepes mérete ( $d_{50}$ ), valamint tetszőleges méretű szemcsék részaránya a halmazban. Közepes méret alatt azt a szemcseméretet értjük, amelynél kisebb (vagy nagyobb) szemcsék részaránya a halmazban pontosan 50%.

A közepes szemcseméret és annak szórása következő összefüggések segítségével számítható:

$$d_{50} = \frac{\sum m_i \cdot d_i}{\sum m_i}$$

5. egyenlet

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum m_i (d_i - d_{50})^2}}{\sum m_i}$$

6. egyenlet

ahol:

$d_{50}$ : a közepes méret [mm],

$d_i$ : az egyes frakciók közepes mérete [mm],

$m_i$ : az egyes frakciók tömege [g],

$\sigma$ : szórás.

Eltérő a kutatók véleménye arról, hogy az elfogadható mérethatárokon belül a műtrágyák szemcsemérete homogén, vagy heterogén legyen.

A kutatók egy része előnyösnek tartja, ha a szemcseösszetételben a legkülönbözőbb méretű műtrágyaszemcsék egyforma arányban fordulnak elő, mert így széles szórási gyűrű keletkezik, amely csökkenti a szórás egyenlőtleniséget (*Mikes - Daidl, 1969; Paulen 1976*). *Hollmann - Mathes (1962)* szerint azonos közepes szemcseátmérőnél ( $d_{50}$ ) 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 egyenlőtleniségre a közel azonos szemcseméret hat kedvezően (*Buczolics - Király, 1970*).

*Paulen (1976)* a műtrágyaszóró gépek munkaszélességének növelése és a szórás egyenlőtleniség csökkentése szempontjából előnyösnek tartotta, ha a 2 mm-es 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 (*Rjadnüh, 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-nél kisebb 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 és 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.

### **Súrlódás**

Röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek esetében a műtrágya-szemcsék és a szóró szerkezet egyes részei között fellépő súrlódás befolyásolja a szemcsék mozgását, a lerepülés sebességét és irányát, és így a szórásszélességet valamint a szórás egyenletességet. Számos kutató mérte különböző módszerekkel a műtrágyák súrlódási tényezőit különböző felületeken, mivel elméleti megfontolások alapján jelentősnek ítélték a súrlódás hatását a fentiekre (*Kozlovskij – Kijzler, 1970; Brübach, 1973; Csizmazia et. al., 2001*).

*Kozlovskij - Kijzler (1970)* megállapították, hogy a műtrágyák nedvességtartalma befolyásolja súrlódási tényezőjüket. Méréseik szerint a nedvességtartalom növekedésével a súrlódási együttható először növekszik, majd pedig csökken.

*Brübach (1973)* a szemcsék tárcsán való tartózkodási idejét elemezte sugárirányhoz képest szögben állított lapátok alkalmazásával. Arra a következtetésre jutott, hogy sugárirányhoz képest kb. 17°-ban hátra állított lapátokkal a súrlódás hatása nem jelentős.

*Hofstee (1995)*, a különböző súrlódási tényezőjű szemcsék mozgását különböző szóró szerkezet megoldásokkal elemezte. Kétféle módszert használt vizsgálataihoz: egyrészt a számítógépes szimulációt, mint elméleti módszert, másrészt Doppler sebességmérőt, mint kísérleti megoldást. A kétféle módszerrel kapott eredmények meglehetősen nagy eltérést mutattak: A differenciál egyenletek alapján végzett szimuláció a súrlódási tényező jelentős hatását igazolja, ugyanakkor a mérések ezt nem támasztják alá. Kétféle lehetséges magyarázatot talált:

Az elméleti modell egyetlen szemcse mozgását írja le, ami nem azonos azzal a szituációval, amikor a műtrágya meghatározott tömegárammal fut a lapátok mentén.

Az eltérés másik okát az általa használt súrlódásmérési módszer hibájában látja: nevezetesen, hogy súrlódásméréskor nem ugyanolyan körülmények között mozognak a szemcsék, mint a valóságban, amikor is a szemcsék kevesebb, mint 0,05 s alatt gyorsulnak 0-ról 10 m/s-ra. A műtrágya sokkal hosszabb ideig tartózkodik a súrlódásmérő készülékben, így nagyobb mértékű koptató hatás éri.

Két, egymástól lényegesen eltérő súrlódási tényezőjű anyaggal (korrózióálló acél és nylonnal bevont felület) először elméleti úton, egyetlen szemcsével, számítógépes szimulációval vizsgálódott, majd valós körülmények között is elvégezte a mérést. Az eredmény nem egyezett a várakozásokkal. Míg az elméleti úton kapott szórásképek között jelentős volt az eltérés addig a szórás kísérletben ez az eltérés a várakozás alatti volt.

### Visszapattanási tényező

*Inns – Reece (1962)* vezették be az  $\varepsilon$ , visszapattanási tényezőt a szemcsék tárcsával való ütközésének jellemzésére.

$$\varepsilon = \frac{v_{p1}}{v_{p2}}$$

7. egyenlet

ahol  $v_{p1}$  és  $v_{p2}$  a visszapattanás utáni és előtti sebesség.

Fenti kifejezés a felülettel való ütközés hatására a szemcse által elvitt impulzushányadot mutatja. A rugalmatlan ütközés határesetében  $\varepsilon = 0$ , a rugalmas ütközés határesetében pedig  $\varepsilon = 1$ . Irodalmi adatok alapján a műtrágyák visszapattanási tényezője különböző felületeken igen széles tartományban, 0,04 és 0,73 között változik. A pattogás hatására a tárcsára ejtett szemcse vagy azonnal, vagy a lapáton való csúszás során távozhat a tárcsáról.

Mivel a visszapattanás jelenségét a kutatók csak egyszemcsés modellekben vizsgálták, ami a gyakorlatban alkalmazott tömegáramoknál nagy valószínűséggel érvényét veszti, ezért ezzel a továbbiakban nem foglalkozom.

## Légellenállás

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.

A fizikai jellemzők közül a légellenállási tényező az egyetlen, amely a levegőben való szemcsemozgást befolyásolja.

Egy levegőben szabadon eső test egyensúlyban van, amikor eléri a  $v_t$  végsebességet. Ekkor a súlyerő megegyezik a sebesség négyzetével arányos közegellenállási erővel. Az alábbi összefüggés turbulens áramlási viszonyok mellett igaz:

$$F = m \cdot g = k \cdot v_t^2$$

8. egyenlet

Ebből:

$$k = \frac{m \cdot g}{v_t^2}$$

9. egyenlet

ahol:

$k$ : légellenállási tényező [kg/m]

$m$ : a szemcse tömege [kg]

$g$ : gravitációs gyorsulás [ $\text{m/s}^2$ ]

$v_t$ : végsebesség [m/s]

Ismert, hogy a  $k$  légellenállási tényező a szemcse és a közeg tulajdonságaitól függ:

$$k = \frac{C_d \cdot A \cdot \rho_l}{2}$$

10. egyenlet

ahol:

$C_d$ : dimenzió nélküli alaktényező,

$A$ : a szemcse áramlás irányába eső, legnagyobb keresztmetszete,

$\rho_l$ : a levegő sűrűsége.

$C_d$  értékére, az áramlás milyenségére (lamináris, átmeneti, turbulens) utaló Reynolds szám ( $Re$ ) értékétől függő közelítéseket szoktak megadni:

$$Re = \frac{d \cdot v \cdot \rho_l}{\eta_l}$$

11. egyenlet

ahol:

$d$ : a szemcse átmérője

$\eta_l$ : a közeg viszkozitása.

Nincs analitikus kapcsolat  $C_d$  és a Reynolds szám között. Léteznek viszont táblázatok, diagramok és közelítő egyenletek. Ezek alapján állítja *Mennel-Reece (1963)*, hogy szabálytalan alakú műtrágyaszemcsék esetén -már alacsony Reynolds számnál is -  $C_d$  állandó.

A  $k$ , légellenállási tényező értékét a műtrágya számos tulajdonsága befolyásolja.

Előnye, hogy az összes fontos tulajdonságot egyesíti, és értéke a kritikus sebességből számítható.

*Polyák N I -Csizmazia Z (2003)* keresték a lebegtetési sebességet és a légellenállási tényezőt leginkább befolyásoló jellemzőket.

A vizsgálatok során a műtrágyaszemcsék alábbi jellemzőit határozták meg:

1. méret:  $a, b, c$  [mm] (3 egymásra merőleges méret);
2. legnagyobb keresztmetszet:  $A = abn$  [mm<sup>2</sup>] (a két nagyobbik méret és egy, az alakra jellemző szám szorzata. Ez hasáb alakú szemcséknél, pl. kálisó 1, míg gömb formájú szemcséknél  $\pi/4$  és 1 közötti szám.);
3. tömeg:  $m$  [g];
4. lebegtetési sebesség:  $v_t$  [m/s];
5. légellenállási tényező:  $c_w = 2mg/A\rho_{lev}v^2$ , 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 ( $A = abn$  [mm<sup>2</sup>]) is jól számolható. Nagy pontossággal mérték meg a szemcsék egyedi tömegét ( $m$  [g]). A szemcsék lebegtetési sebességét ( $v$  [m/s]) a légcsatorna 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 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  $m_a$  [kg/m<sup>2</sup>].
- 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 szabálytalan alakú 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
Ammóniumnitrát:	9,53 m/s
NPK 15-15-15:	9,94 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 röpitési 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

### **Szemcseszilárdság**

A műtrágyák szemcseszilárdsága megmutatja, hogy a tárolás, kezelés és kijuttatás során milyen mértékben képesek ellenállni a rájuk ható terhelőerőknek.

Kedvezőtlen jelenség, hogy a műtrágyák eredeti állapota a kezelés, tárolás során megváltozik. Azok a szemcsék, amelyek nem rendelkeznek megfelelő szilárdsággal, összetörnek, ezáltal megváltozik szemcseméretük és szemcseméret-megoszlásuk

*Brübach (1973)* a szemcseszilárdság három típusát különböztette meg:

Statikus szemcseszilárdság: a maximális terhelőerő, amit egy szemcse törés nélkül elvisel, osztva a törési keresztmetszettel.

Dinamikus szemcseszilárdság: ütés hatására bekövetkező aprítódási fok, %-ban mérve.

Abrázív ellenállás: a koptató hatással szembeni ellenállás A kopás aprítódást, porképződést eredményez. A vizsgálathoz a műtrágyából vett mintát meghatározott sebességgel és meghatározott ideig forgatják egy dobban fémgolyókkal együtt, majd megállapítják a lemorzsolódott tömeg arányát %-ban.

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 szemcsesérülés 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 - Kijzler, 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-ammóniumnitrát: 19,9 N; ammóniumfoszfát: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-ammóniumnitrát esetén az aprítás mértéke 18-28% volt.

*Hofstee (1992)* a műtrágyák kijuttatás szempontjából legfontosabb fizikai jellemzőinek sorában ötödik helyre tette a szemcseszilárdságot. Megállapította, hogy leginkább a szemcseméret és anyagi tulajdonságok (kohézió) befolyásolják. Nagyobb szemcsék összetöréséhez nagyobb erő szükséges. Eltéréseket is tapasztalt, melynek oka feltételezése szerint a gyártási folyamatban keresendő.

1. Az NPK műtrágya szemcseszilárdsága csökkent a szemcseátmérő növekedésével.
2. Az ammóniumnitrát szemcseszilárdsága nőtt a szemcseátmérő növekedésével.
3. A karbamid szemcseszilárdsága alig változott a szemcsemérettel.

A műtrágyaszemcséknek rendelkezniük kell egy minimális szemcseszilárdsággal, hogy a felhasználás során jelentkező igénybevételeket elviseljék. A legtöbb kutató ezt a minimumot 15N törőerőben határozta meg. (*Hofstee - Huisman, 1990*). A vizsgált műtrágyák a karbamid kivételével megfeleltek ennek a követelménynek.

## **2.2.2. A szóró szerkezet konstrukciója**

### **2.2.2.1. A röpítőtárcsás szóró szerkezetek fejlődésének áttekintése**

A fejlesztés kezdetén 1 db függőleges tengelyű, lapátozott, gyorsan forgó tárcsát alkalmaztak a műtrágya szétszórására, majd később a munkaszélesség növelése és az egyenletesebb szórás érdekében 2 db röpítőtárcsára tértek át.

A röpítőtárcsák számát illetően a kutatók eltérő nézeteket vallottak. *Kegelesz, (1969)* helytelennek tartotta a két röpítőtárcsa alkalmazását, mert szerinte a két tárcsa növeli a gép bonyolultságát és csökkenti az egy tárcsára eső munkaszélességet.

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

*Brübach (1973)*, véleménye szerint egy röpítőtárcsával csak egyfajta műtrágyával érhető el szimmetrikus szóráskép, mert az eltérő súrlódási viszonyok miatt minden más műtrágyánál aszimmetrikus lesz az eloszlás. Kéttárcsás műtrágyaszóró gépnél a különböző műtrágyák szórása esetén szimmetrikus marad a szóráskép, de 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 szóráskép szimmetria jobban tartható, mint egytárcsás gépekkel.

Az eltérő vélemények általában abból adódnak, hogy a kutatók egy része a röpítőtárcsás 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 szóráskép szimmetria biztonsága, részben a jobb szóráskép szabályozhatóság miatt. További előny, hogy a műtrágya két tárcsán, 4 vagy 6 lapáton oszlik meg, ami javítja az egyrétegű mozgás feltételeit a lapát felületén, növeli a lapát menti sebességet, ezzel nő a leválási sebesség és a munkaszélesség (*Csizmazia - Polyák, 1997 a, b*).

*Sedlak (1970)*, vizsgálta a röpítőtárcsa 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 röpítőtárcsa fordulatszám ingadozása jelentős munkaminőség csökkenést eredményez, tehát biztosítani kell a tárcsa állandó fordulatszámát (*Csizmazia, 1982*).

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

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

- a röpítőtárcsák megfelelő elhelyezése;
- a lapátok alakjának és beállításának helyes megválasztása;
- a szórási szektor célszerű megválasztása;
- a röpítőtárcsa kerületi sebességének megfelelő szinten tartása;

- a műtrágya szemcseösszetételének helyes megválasztása;
- az adagológarat optimális terhelésének meghatározása;
- a szórógép körültekintő beállítása;
- szórásszabályzó 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 röpítőtárcsa 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 röpítőtárcsa fordulatszám
- egyenletes műtrágya adagolás
- állandó haladási sebesség
- megfelelő csatlakoztatás.

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

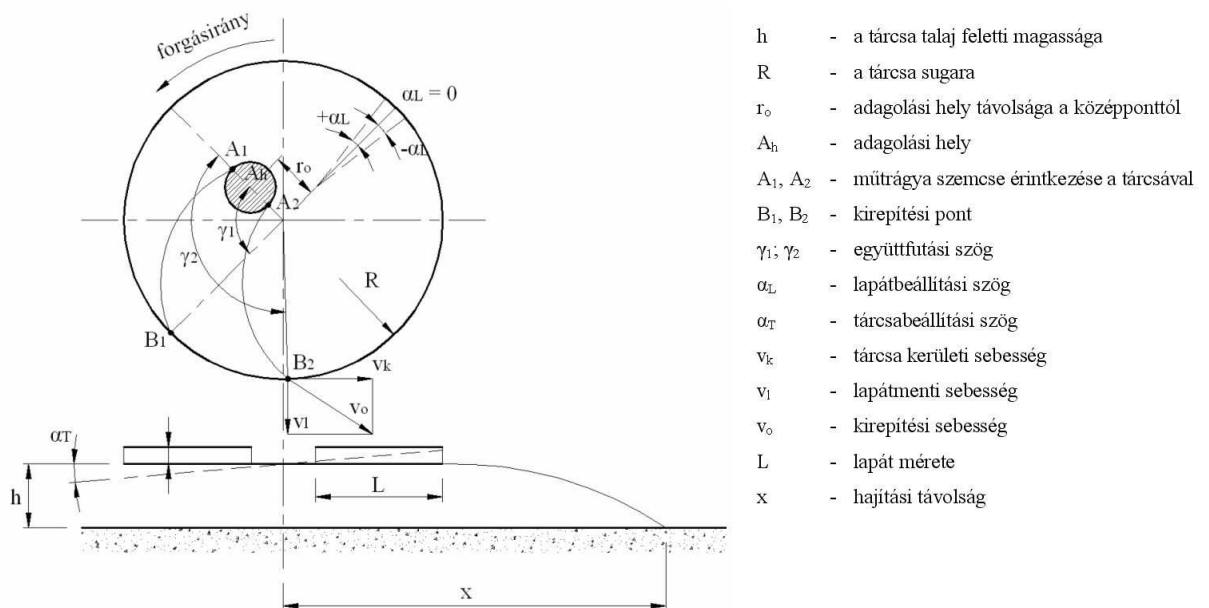
- megfelelő szemcseeloszlás,
- a műtrágyák megfelelő belső és külső súrlódási tulajdonságai,
- optimális adagolási hely,
- megfelelő tárcsa kerületi sebesség,
- megfelelő lapát beállítási szög,
- pontos csatlakoztatás.
- Befolyásoló tényező továbbá a műtrágya mennyiség.

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 szóró szerkezet 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.



**7. ábra. A röpitőtárcsa felületén mozgó műtrágyaszemcse pályájának elemzése során alkalmazott jelölések**

Amíg a műtrágyaszemcse az A ponttól a B pontig jut (7. ábra) a tárcsa  $\gamma$  szöggel fordul el. A  $\gamma$  szöget, mely alatt a műtrágyaszemcse a röpitőtárcsával 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 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.

Szokol'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 bizonytalanná 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)*, vizsgálatai során 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 terepegyenlőtlenység 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 azzal 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 tölcésrszerű 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*).

### 2.2.2.2. A röpítőtárcsa mérete, alakja és helyzete

A röpítőtárcsák átmérőjének nagysága mindaddig fontos tényező volt a munkaszélesség szempontjából, míg fel nem ismerték, hogy a műtrágyaszemcsék döntően a lapátok felülete mentén mozognak, így a lapátok hossza az, ami ebből a szempontból érdekes.

*Csizmazia - Polyák (1997a, b)* megállapították, hogy a tárcsák 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.

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 szórászélesség 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 röpítőtárcsákkal végzett vizsgálatok során középen sík, külső részén kúpos, duplafedelű, csillag alakú tárcsát talált legmegfelelőbbnek, mind munkaszélesség, mind munkaminőség szempontjából.

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. Vizsgálataik 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.

Bánházi et al. (1984), a következő egyenletet vezették le a műtrágyaszemcsék repítési távolságának kiszámítására:

$$x = L = \frac{\ln \left[ k_v \cdot v_1 \cdot \sqrt{\frac{2H}{g}} + 1 \right]}{k_v}$$

12. egyenlet

ahol:

$k_v$ : a szemcse vitorlahatási tényezője, [1/m]

$v_1$ : a szemcse kezdeti sebessége, a lapátról való távozás pillanatában, [m/s]

$H$ : a röpítőtárcsa magassága, [m]

$g$ : a gravitációs gyorsulás, [m/s<sup>2</sup>]

Fenti összefüggés felhasználásával *Soleymangoli (1998)* számítógépes szimuláció alkalmazásával vizsgálta, hogy hogyan változik a hajítási távolság változó tárcsamagasság, légellenállási tényező és kezdeti (leválási) sebesség esetén.

A következő megállapításokat tette:

- Állandó kezdeti sebesség mellett (18 m/s), ha növekszik a tárcsamagasság és csökken a szemcsék légellenállási tényezője, akkor a hajítási távolság nő.
- Alacsony leválási sebességnél (6-8 m/s), a légellenállási tényező növekedésével alig változik (csökken) a hajítási távolság.
- A tárcsamagasság nem befolyásolja olyan jelentős mértékben a hajítási távolságot, mint a kezdeti sebesség.

### 2.2.2.3. A röpítőtárcsa fordulatszámja

A kívánt hajítási távolság elérése érdekében a röpítőtárcsát, a rajta lévő lapátokkal, megfelelő fordulatszámmal kell üzemeltetni.

A lapáttal érintkezésbe lépő szemcsék kerületi sebessége egy, az adagolási hely által meghatározott kezdeti értékről fokozatosan nő, és a lapát végén éri el a maximális értéket. Eközben lapát menti, döntően a centrifugális erő által meghatározott sebességük

is nő. A két sebességvektor eredője a leválási sebesség, mely alapvetően meghatározza a repítés távolságát és irányát, ezzel a szórászélességet.

A röpítőtárcsás szóró szerkezetek 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 röpítőtárcsák szemcsesérülést eredményeznek. A sérült szemcsék a 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 fent 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-t.

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

*Csizmazia (1986a)* 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 befolyásolja a röpítőtárcsák fordulatszám-ingadozása (*Mikes, 1969; Fuhrmann, 1978; Csizmazia, 1982*). *Hollmann - Mathes (1962)* szerint, a röpítőtárcsa fordulatszám-ingadozása módosítja a szórászélességet, az eloszlást nem befolyásolja. Ez utóbbi azonban nem állja meg a helyét, mert a szórászélesség változása a csatlakoztatás során feltétlenül a szórás egyenlőtlenség változását eredményezi. 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 röpitőtárcsa hajtásnál olyan vezérlési rendszert alkalmazzanak, mely elektromos úton jelzi a mindenkori fordulatszámot, és eltérés esetén korigálja azt.

#### **2.2.2.4. A röpitőtárcsán alkalmazott szórolapátok**

A röpitőtárcsás műtrágyaszóroló gépek fejlesztése során a szórolapátok száma, alakja, beállítása sokat változott. Ez is bizonyítja, hogy ezek a tényezők lényeges hatással vannak mind a munkaszélességre, mind a szórasegyenlőtlenségre.

A lapátok számát részben a műtrágyaáram nagysága, részben a szórási szög figyelembe vételével célszerű meghatározni. Ideális állapotnak 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*).

*Kusilkin (1966)*, a garatterhelést figyelembe véve, 3 kg/s tömegáram 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 szórasegyenlőtlenség nő. Vizsgálatokat végzett 600 mm átmérőjű röpitőtárcsa és 50 mm átmérőjű adagolónyílással, sugárirányú lapátózás mellett. A lapátszám és a szórási szög között az alábbi összefüggést találta:

#### **3. táblázat A lapátszám és a szórási szög közötti összefüggés**

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 szórasegyenlőtlenség 10,4%-os növekedését eredményezte, addig a lapátok számának 8-ról 2-re csökkentésével a szórasegyenlőtlenség 9%-kal csökkent.

Megállapítható tehát, hogy a műtrágya tömegáram növelése a lapátszám növelését, a szórási szög növelése a lapátszám csökkentését igényli.

*Kőkuti (2005)* összefüggést határozott meg a lapátok felületén egy rétegben mozgó műtrágyamennyiség és a lapátszám között. Számításai alapján 650 kg/ha-nál nagyobb kiszórandó mennyiség esetén háromlapátos szóró szerkezet javasolt.

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.

*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 érte el. A legnagyobb munkaszélesség –amit csavart lapáttal elért (28 m) - 25%-al volt nagyobb, mint a második legjobb, hengeres lapátformával.

A legeltérőbb vélemények a lapátok 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 alkalmazásának lehetőségét is. Megállapították, hogy a lapátok beállítási szöge befolyásolja az együttfutási szög nagyságát. Forgásirányban a sugárirányhoz képest előrehajló (+ szögérték) lapátbeállításnál az együttfutási szög nő, hátrahajló lapátokkal (- szögérték) csökken (*Kusilkin, 1966; Brübach, 1973*).

Külön vizsgálták a lapátbeállítás hatását a munkaszélességre és a szórás egyenlőtlenségre. *Kusilkin (1966)*, megállapította, hogy a lapátok szögének -10°-ról +10°-ra történő változtatásával, a szórás egyenlőtlenség 17%-kal csökkent. Kedvezőnek tartotta, ha a tárcsán az egymást követő lapátok szöge +10°, illetve -10°. *Csunáre (1969)* szerint, a szórás egyenlőtlenség szempontjából a +15° és +17° közötti szögtartomány a legkedvezőbb, a legnagyobb munkaszélességet azonban 0 és -10° közötti szögtartományban érte el. Vizsgálatai alapján ezért hajlított lapátot javasolt,

mely  $+15$ ,  $+17^\circ$ -os lapát beállítással indul és  $-3^\circ$ -os beállítással fejeződik be. Ívelt lapátot javasoltak *Cunningham et al.*, (1965) is.

*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.

*Soleymangoli - Kasza* (1997), számítógépes szimuláció segítségével vizsgálták a lapátok formáját, beállítási szögét sík tárcsa esetén, különböző adagolási helyekkel. A szimulációhoz, mint bemenő alapadatokat 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 - Kőkuti* (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.

A lapátok anyagának jelentőségére figyelt fel *Irla* (1976), amikor a lapátok elkészítését rozsdamentes acélból javasolta. Ezzel a lapátmegoldással kedvező szórás egyenletességet értek el.

### **2.2.3. 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 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 műtrágyamennyiség 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. A többretegű 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 is, 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 röpítőtárcsát, 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 keletkezik a számításokban. Meg kell jegyezni, hogy a hiba a röpítőtárcsa 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 röpítőtárcsákról 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.

*Hofstee (1993)* különböző tárcsa és lapátbeállítások mellett vizsgálta a műtrágyaszemcsék mozgását a röpitőtárcsa 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.

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 röpitőtárcsák 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 röpitőtárcsa felületén és a röpitőtárcsa 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 elemzést 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.

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

### **2.2.5. Üzemeltetési jellemzők**

A nagyobb munkaszélességre, a pontosabb szórásra való törekvés egyre bonyolultabb, gondosabb kezelést igénylő műtrágyaszóró gépek fejlesztését eredményezte. Ezeket csak kellő szakismerettel rendelkező szakember tudja megfelelően kezelni. Az eredményes üzemeltetés alapvető feltétele, hogy a műtrágyaszóró géphez rendelkezésre álljanak azok a beállítási adatok, melyek a különböző műtrágyákhoz és műtrágya mennyiségekhez pontos útmutatást adnak (adagolási hely, adagoló állás, munkaszélesség, stb.). Üzemeltetés szempontjából mindenképpen kedvező, ha az adott gép beállítása egyszerű. A kevés állítási lehetőség csökkenti a hibalehetőséget (*Ancza, 2002*).

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 mindig csak az új gépekre és korlátozott számú műtrágyára érvényesek.

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 előtt 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, területteljesítményének növelése szempontjából is kedvező.

*Hensel (2003)* képfeldolgozás alapján javasolja a röpitőtárcsás 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.

## **2.2.6. 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 %-al is nőhet a fajlagos terméshozam és javulhat a termények minősége (*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 együtthatalása 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 együtthatalása 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 valamint 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.

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

#### 3.1. A munkaminőségi vizsgálatokhoz használt gép leírása

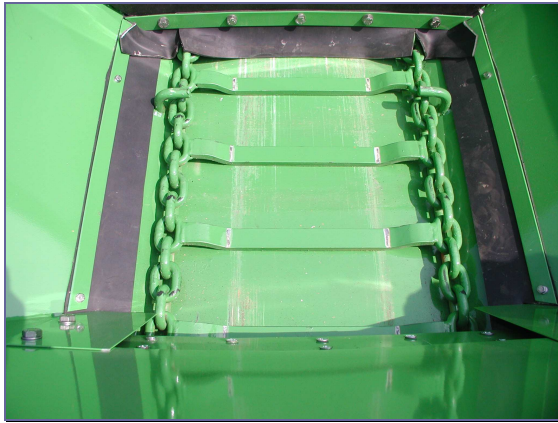
A kutatómunkához szükséges mérések elvégzéséhez a TORNÁDÓ INTERNATIONAL KFT gyártott kísérleti gépet (**8. ábra**).



**8. ábra.** A kísérleti gépcsoport

A gépet a gyártó úgy építette fel, 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 (**9. ábra**), illetve szalag (**10. ábra**) szállítja ki, így a vontatott gépek adagolásának modellezésére is lehetőség van.

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 kétféle kihordó szerkezetet alternatívaként célszerű megtartani, mert a gyakorlat egyelőre a megszokott láncos kihordót preferálja. A láncos kihordó adagolási ciklikusságát a fenéklemez háromszög alakú kivágásával (**11. ábra**) és a műtrágya megomlásából származó adagolási egyenlőtlenséget befolyásoló oszlató láncokkal lehet csökkenteni.



**9. ábra. Lánccos adagoló szerkezet**



**10. ábra. Szalagos adagoló szerkezet**

Ez utóbbi elsősorban nagyobb adagoknál jelentkeznek. A fenékmező háromszög alakú kivágásának haladási irányba eső hossza megegyezik a kihordólánc osztásával, így a műtrágya folyamatosan áramlik az adagoló szerkezetből.

A területegységre jutó műtrágya mennyisége résszabályozással változtatható. Az alkalmazott résszabályzó (**12. ábra**) a szokásos lánc- vagy szalagsebesség mellett 50 kg/ha-tól akár 1000 kg/ha műtrágyamennyiség beállítását is teszi lehetővé, amely a ma alkalmazott műtrágyamennyiségek tükrében megfelelő.

Az adagoló szerkezettől a műtrágya elosztó szerkezethez jut (**13. 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 (**14. ábra**) pontos azonosítást jelent és két skálával ellátott karral korrekt módon biztosítja a megismételhetőséget.

Az adagolótölcsérekkel az eltérő fizikai jellemzőkkel rendelkező műtrágyák a röpítőtárcsán a megfelelő adagolási helyre juttathatók.

A kísérleti gép kéttárcsás szóró szerkezete kétlapátos (**15. ábra**) és háromlapátos (**16. ábra**) szórótárcsákkal szerelhető fel.

A kétlapátos rendszerrel kisebb műtrágyamennyiség esetén kisebb szórás egyenlőtlenség érhető el. Alapműtrágyázásra is alkalmazott gépeknél azonban a háromlapátos rendszer előnyösebb lehet.

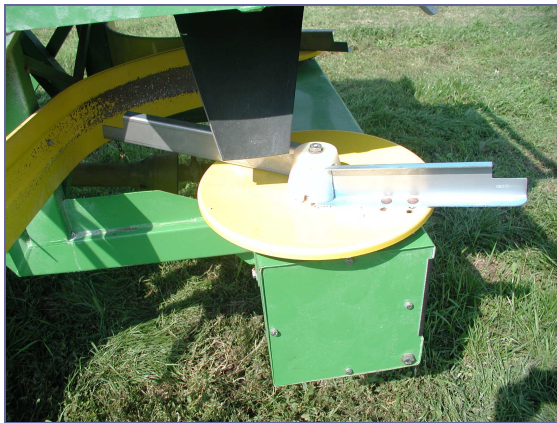


**11. ábra. A fenéklemez háromszög alakú kivágása és a műtrágyaoszlató láncok**



**12. ábra. Csavarorsóval működtetett résállító szerkezet a beállító skálával**

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.



**13. ábra. Kétlapátos szóró szerkezet**



**14. ábra. Háromlapátos szóró szerkezet**

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 lehetővé teszi.

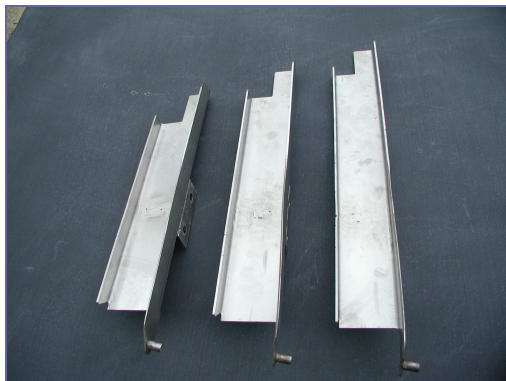


**15. ábra.** A műtrágyaelosztó szerkezet



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

A szóró szerkezet három különböző hosszúságú lapáttal, valamint ezek kombinációjával üzemeltethető (17. ábra), továbbá állítható a lapátok sugáriránnyal bezárt szöge (18. ábra)

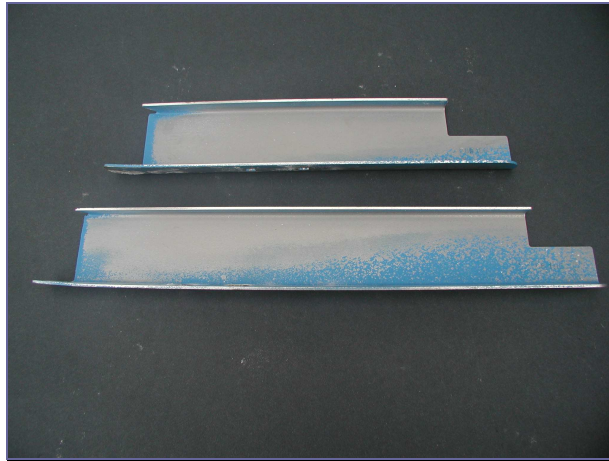


**17. ábra.** Eltérő hosszúságú szórólapátok



**18. ábra.** Lapátszög állítási lehetőségek a röpitőtárcsán

Külön vizsgáltuk a lapátok felületén a műtrágyaáram pályáját. Ebből a célból a lapátokat megfelelő fedőréteggel láttuk el (19. ábra). A fedőréteg kopásának elemzése alapján megállapítható volt, hogy a különböző hosszúságú lapátoknál a lépcsőzetes lapátvég kialakítás eltérő geometriát kíván. Ez azért fontos megállapítás mert látható, 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.



**19. ábra. Festékréteggel bevont lapátok**

### **3.2. A vizsgálatok módszere**

A kísérleti műtrágyaszóró géppel a keresztirányú szórás egyenlőtlenség vizsgálatokat a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Kar Géptani Tanszékének mérőpályáján végeztem. A mérőpálya egy 50 méter hosszú betonpályatestből és az arra merőlegesen elhelyezett mérőtálcasorból áll, mely 50 méter szórásszélességig alkalmas keresztirányú szórásképvizsgálatokra (*Csizmazia, 1989, 1993*). **(20. ábra).**



**20. ábra. A műtrágyaszóró gép a mérőpályán**

A vizsgálópályán –a műtrágya talajról a tálcába pattogásának megakadályozása érdekében- a tálcasor a pálya szintjéhez képest emelt helyzetben (800 mm) helyezkedik

el. A műtrágyaszóró gép az emelt tálcasor felett (**22. ábra**) a kívánt beállítási magasságban halad át. Ez egy, a pálya fölé tolható konzolos tartószerkezetet segítségével érhető el, mely traktorral vontatható, és amely a műtrágyaszóró gépek csatlakoztatásához három-pont függesztő szerkezettel rendelkezik (**21. ábra**).

A vizsgált gép hajtása a traktor teljesítmény-leadó tengelyéről történik. Az egytengelyes kialakítású konzollal a vizsgált gép 3 méterrel tolható a mérő tálcasoron túl. Tekintettel arra, hogy a korszerű röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek szóró szerkezetét úgy tervezik, hogy az előre ne szórjon, ezzel a módszerrel a gépek vizsgálata hiba nélkül elvégezhető.



**21. ábra.** A műtrágyaszóró gép rögzítése és hajtása



**22. ábra.** A rácsokkal ellátott mérőtálcák, az alattuk elhelyezett mérődobozokkal

A háromszori ismétléssel végzett mérés során a műtrágya a mérőtálcából mérődobozokba hullik (**22. ábra**). A mérőtálcák csonka kúp alakja és oldalának meredeksége biztosítja, hogy a felfogott műtrágya maradéktalanul eljut a mérődobozokba. A mérődobozok összegyűjtése számozásuknak megfelelően történik így a szórásképben elfoglalt pozíciójuk nem változik.

A mérődobozok tartalmát 0,1 g pontossággal mérjük, 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.

Fenti jellemzőket nemzetközi szabvány rögzíti. A kiértékelés a mérés befejezése után percekben belül elvégezhető, így a gép az előző mérés eredményének ismeretében állítható be a következő méréshez. A műtrágyaszóró gépek keresztirányú

szórás egyenlőtlenségének jellemzésére három értéket használunk, amelyeket az alábbi összefüggések segítségével határozunk meg:

*Közepes eltérés ( $e_k$ )*

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

13. egyenlet

ahol:  $x_i$  a háromszori ismétlés során, egy mérőhelyen felfogott műtrágya mennyiségek átlaga;

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

$n$  a mérőhelyek száma.

$e_k$  megengedett értéke 10%.

*Variációs tényező (CV)*

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

14. egyenlet

CV megengedett értéke 15%.

*Legnagyobb eltérés ( $e_{max}$ )*

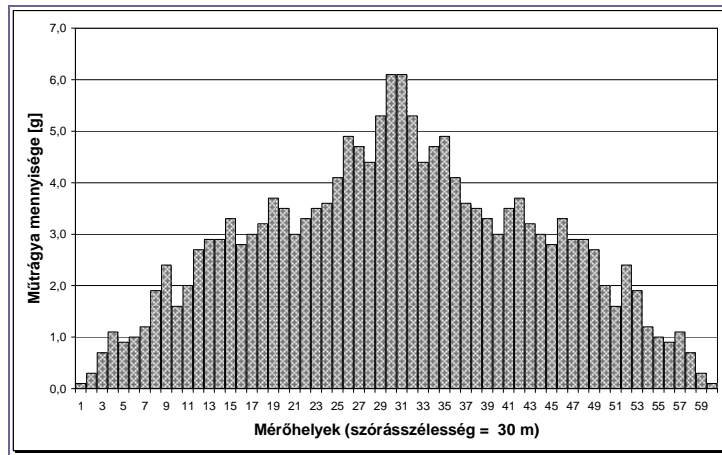
$$e_{max} = \frac{100}{\bar{x}_i} |x_i - \bar{x}_i| \max \%$$

15. egyenlet

$e_{max}$  megengedett értéke 20%.

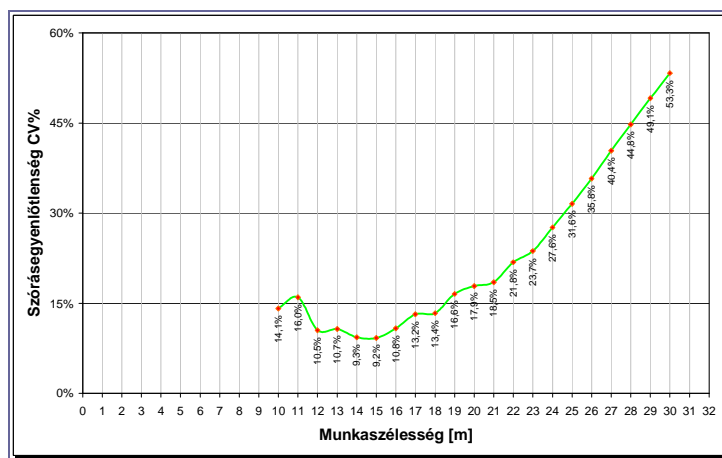
Egy-egy mérés eredményeként három diagramot kapunk:

- Az adott beállításhoz tartozó keresztirányú szórásképet (**23. ábra**), amely az egyes mérőhelyeken felfogott műtrágya mennyiségeket ábrázolja [g]-ban. A mérőhelyek számát az alapján választjuk meg, hogy várhatóan milyen szélességben szór majd a gép az adott műtrágyával, az adott beállítással. Ennek megfelelően jelen méréssorozatban a leggyakoribb 60 mérőhelyes vizsgálatokon túl 50 és 80 mérőhelyes mérésekre is sor került.



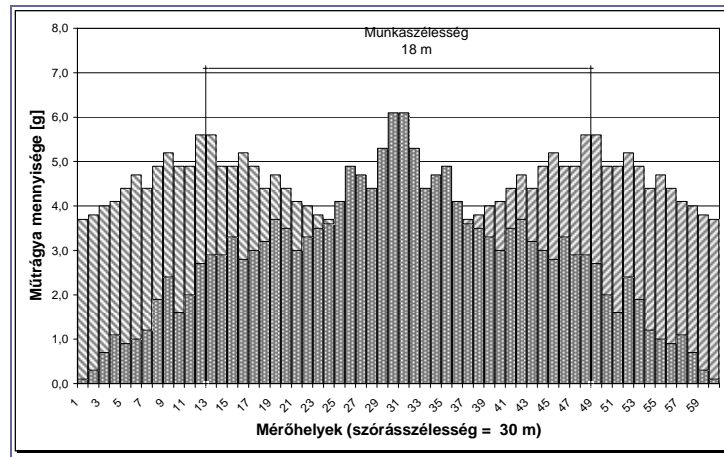
**23. ábra. Keresztirányú szóráskép**

- A szórásgörbét, ami nem más, mint a keresztirányú szóráskép különböző mértékű átfedése eredményeként kapott munkaszélesség –szórás egyenlőtlenség összefüggést ábrázoló görbe (**24. ábra**). Az átfedés nagysága nulla, amikor szórás szélesség megegyezik a munkaszélességgel. A szórás egyenlőtlenség természetesen ekkor a legnagyobb. Az átfedés nagyságának 1 méterenkénti növelésével a munkaszélesség és a szórás egyenlőtlenség csökken. Egy adott mérés során meghatározható az a legnagyobb munkaszélesség, amelynél a szórás egyenlőtlenség értéke kisebb, mint a szabványban megengedett 15%. A továbbiakban ezt a munkaszélességet tekintjük az adott mérés során kapott munkaszélességnek. (A bemutatott példán 18 méter munkaszélességnél a szórás egyenlőtlenség 13.4%)



**24. ábra. Munkaszélesség- szórás egyenlőtlenség összefüggés**

- A harmadik diagram (**25. ábra**) a keresztirányú szórásképet már az átfedésekkel ábrázolja, konkrétan azzal a legkisebb átfedéssel, amelynél a szórás egyenlőtlenség 15% alatt marad. Ekkor kapjuk az adott méréshez tartozó legnagyobb munkaszélességet.



**25. ábra. Keresztirányú szóráskép átfedésekkel**

Fentiekén túl a program kiszámítja az adott munkaszélességhez tartozó közepes és maximális eltérés értékeit ( $e_k$ ;  $e_{max}$ ). Mindezeket, az aktuális beállítási értékekkel és egyéb, a pontos azonosításhoz szükséges adatokkal, mérőlapokon jeleníti meg (**1. sz. melléklet**).

A **4. táblázat** a kísérleti gép legfontosabb műszaki és üzemeltetési adatait tartalmazza.

**4. táblázat. A kísérleti gép műszaki és üzemeltetési adatai**

A tartály mérete (kísérleti cél):	400 dm <sup>3</sup>
A röpitőtárcsák száma:	2
A röpitőtárcsák átmérője:	400 mm
A röpitőtárcsák fordulatszáma:	840 1/min
A röpitőtárcsák tengelytávolsága:	900 mm
A röpitőtárcsák helyzete:	vízszintes
A szórólapátok száma:	2 vagy 3 db
A szórólapátok hossza:	400/300 mm vagy 400/350/300 mm
A szórólapátok magassága:	50 mm
A szórólapátok sugáriránnyal bezárt szöge:	30°, 35°, 40° forgásirányhoz képest hátra
A méréseknél alkalmazott haladási sebesség:	8 km/h

### 3.3. A vizsgálatokhoz használt műtrágyák fizikai jellemzői

A vizsgálatokhoz ötféle, a gyakorlatban széles körben alkalmazott műtrágyát használtam. Ezek -szórás szempontjából legfontosabb- fizikai jellemzőit a vizsgálatok megkezdése előtt meghatároztam, mivel a tapasztalat azt mutatja, hogy még azonos gyártó esetén is nagy eltérések vannak az azonos típusú műtrágyák között, a fizikai jellemzők vonatkozásában.

A szemcseméret megoszlás meghatározása szita-analizátorral történt. A gépbe minden mérés alkalmával 600 g műtrágyát töltöttünk, majd 2 percig működtettük. Az egyes méretfrakciók tömegét 0.1 g pontosságú mérleggel mértük meg.

#### 5. táblázat. A vizsgálatokhoz használt műtrágyák szemcseösszetétele

Méretfrakciók	Szemcseösszetétel %				
	Ammónium-nitrát	Pétisó	NPK	Kálisó	Karbamid
< 1.00 mm	0,90	0,08	2,57	0,93	2,12
1.00 -2.00 mm között	28,10	0,58	5,37	6,73	77,35
2.00 -2.50 mm között	28,58	1,10	6,92	15,12	15,93
2.50 -4.00 mm között	40,15	63,22	82,68	75,12	4,60
> 4.00 mm	2,27	35,02	2,46	2,10	0.00

A szitaanalízis lehetőséget nyújt az egyes szemcsehalmazok összehasonlítására a következő szempontok szerint:

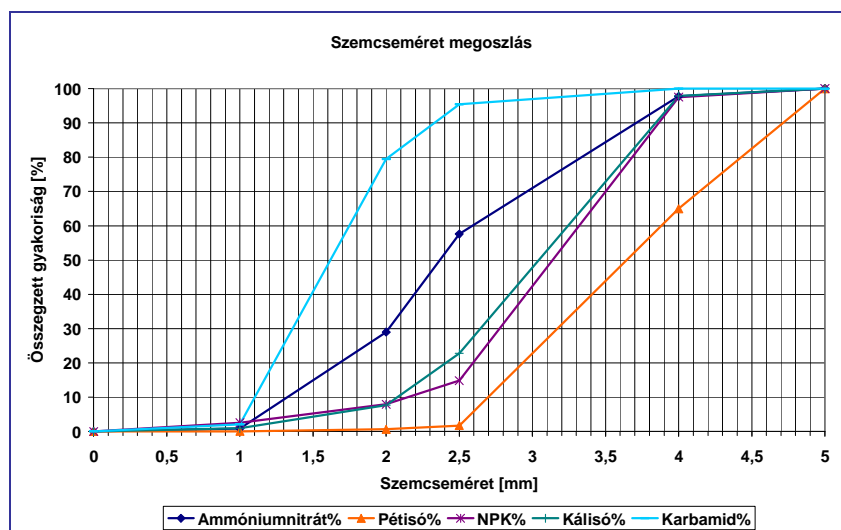
- legkisebb és legnagyobb szemcseméret
- közepes szemcseméret
- a szemcseméret szóródása.

A legkisebb és legnagyobb szemcseméret jellemzésére az 1 mm-nél kisebb, illetve a 4 mm-nél nagyobb szemcsék részarányát választottam ( $d_{<1}$ %,  $d_{>4}$ %).

A közepes szemcseméretet kétféleképpen is meghatároztam:

A szitamaradék diagram (**26. ábra**) a méret függvényében ábrázolja a szitán áthullott anyag tömegarányát, %-ban. A közepes szemcseméretet ( $d_{50}$ ) az összegzett gyakoriság 50%-os értékénél olvashatjuk le a vízszintes tengelyen.

Ez az a szemcseméret, amelynél kisebb (vagy nagyobb) méretű szemcsék részaránya a halmazban pontosan 50%.



26. ábra. A szemcseméret megoszlás ábrázolása

A közepes szemcseméret és annak szórása számítással is meghatározható:

$$d_{50} = \frac{\sum m_i \cdot d_i}{\sum m_i}$$

16. egyenlet

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum m_i (d_i - d_{50})^2}}{\sum m_i}$$

17. egyenlet

ahol:

$d_{50}$ : a közepes méret, [mm],  $d_i$ : az egyes frakciók közepes mérete, [mm],  $m_i$ : az egyes frakciók tömege, [g],  $\sigma$ : szórás.

A szórás bármely sokaság változékonyságának kifejezésére jellemző érték (Manczel, 1983). Két vagy több halmaz esetében előfordulhat, hogy szórás értékük azonos, ugyanakkor átlagaik különbözőek. Az összehasonlítás akkor lesz helyes, ha az összehasonlítás bázisa az átlag. Az így kapott mutatószám a szóródási együttható, vagy variációs koefficiens.

$$CV = \frac{\sigma}{d_{50}} \cdot 100\%$$

18. egyenlet

A mérésekben szereplő műtrágya fajták fentiek szerint meghatározott méretjellemzőit a **6. táblázat** tartalmazza.

Összehasonlításként, a tanszéken korábban végzett mérések alapján a 18%-os szuperfoszfát legfontosabb fizikai jellemzői az alábbiak szerint alakultak:  $d_{<1}=12,75\%$ ;  $d_{>4}=12,95\%$ ;  $d_{50}=2,55$  mm, szemcseméret szórás,  $CV=46\%$ .

A vizsgált szuperfoszfát nedvességtartalma 13,8%, térfogattömege pedig 1,27 kg/dm<sup>3</sup> volt. Ez a műtrágya típus a kísérletsorozatban nem szerepelt.

#### 6. táblázat. A vizsgált műtrágyák méretjellemzői

Méretjellemző	Ammónium -nitrát	Pétisó	NPK	Kálisó	Karbamid
d <sub>&lt;1</sub> %	0,90	0,08	2,57	0,93	2,12
d <sub>&gt;4</sub> %	2,27	35,02	2,46	2,10	0,00
d <sub>50</sub> [mm]	2,38	3,65	3,14	3,02	1,62
VK%	32,60	17,50	21,00	21,00	27,90



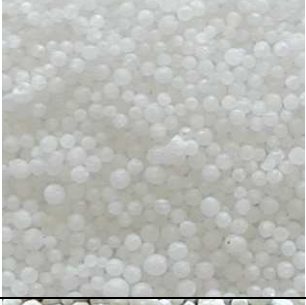
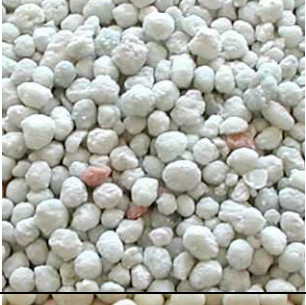

A térfogattömeg meghatározásához 1000 cm<sup>3</sup> -s mérőhengert és 0.1 g pontosságú mérleget használtam. A **7. táblázatban** szereplő értékeket háromszori ismétlés átlagaként kaptam.

A műtrágyák nedvességtartalma jelentősen befolyásolja egyéb fizikai jellemzőiket, ezért azt minden esetben mérni kell. A nemzetközi szabványoknak is megfelelő módon, 25 g mintával, háromszoros ismétléssel, 103 ± 1°C hőmérsékleten, 72 óra szárítási idővel határoztam meg az adott műtrágyák nedvességtartalmát. A minták tömegét 0,1 mg pontosságú mérleggel mértem meg. Az eredményeket a **7. táblázat** tartalmazza.

### 3.4. A vizsgálatok során változó jellemzők

- az adagolási hely;
- a szórólapátok száma;
- a szórólapátok hossza;
- a szórólapátok sugáriránnyal bezárt szöge;
- a műtrágyák fizikai jellemzői;
- az adagolórés nagysága.

**7. táblázat. A műtrágyák fontosabb fizikai jellemzői**

Típus	Szemcseösszetétel	Közepes szemcseméret $d_{50}$ [mm]	Térfogattömeg [kg/dm <sup>3</sup> ]	Nedvességtartalom [%]
Ammóniumnitrát 34%		2,38	0,95	0,31
Kálisó 60%		3,02	1,13	0,07
Karbamid 46%		1,62	0,74	0,32
NPK 8-24-24%		3,14	0,97	1,42
Pétisó 27%		3,65	1,02	0,54

### 3.5. A vizsgálatok során nem változtatott jellemzők

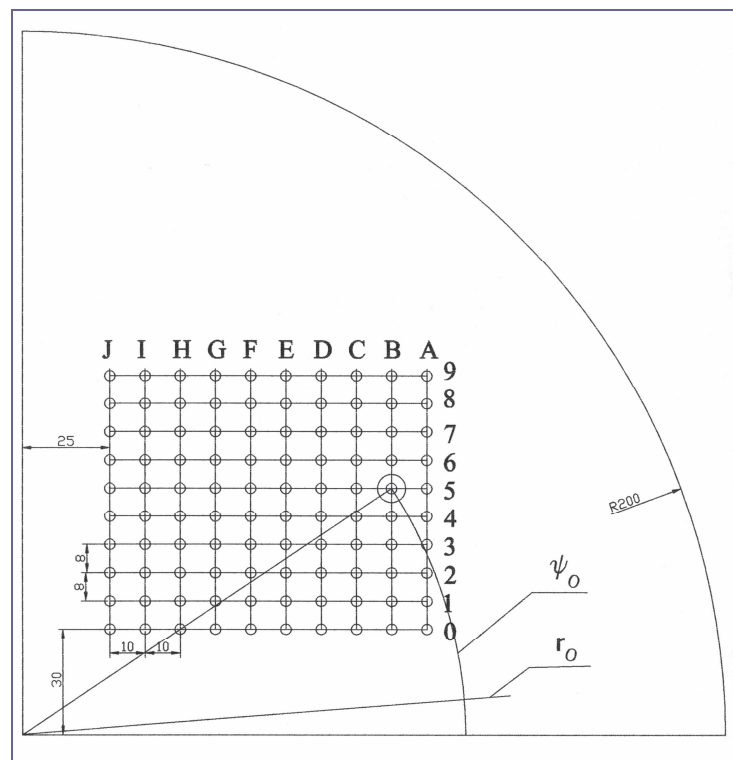
- a röpítőtárcsák mérő tálcasor feletti magassága: 700 mm;
- a röpítőtárcsák forgási síkja: vízszintes;
- a röpítőtárcsák alakja: kúpos;
- a röpítőtárcsák tengely távolsága: 900 mm;
- a röpítőtárcsák fordulatszáma: 840 1/min;
- a mérés során alkalmazott menetsebesség: 8 km/h.

### 3.6. A beállítható adagolási helyek

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

A mátrix rendszerű adagolási hely állítás pontos azonosítást jelent, és két skálával ellátott karral korrekt módon biztosítja a megismételhetőséget. A beállítható adagolási helyeket a röpítőtárcsa felületén a **27. ábra** mutatja. A későbbiekben ezek jelölése, pl. A9, B8, stb.

Az egyes adagolási helyek sugár és szögértékeit ( $r_0$ ;  $\psi_0$ ) a **27. ábrának** megfelelően a **2. sz. melléklet** tartalmazza.



**27. ábra.** Adagolási helyek a röpítőtárcsa felületén

### **3.7. Különböző lapátanyagok koptató vizsgálat**

Két, egymáshoz képest relatív elmozdulást végző anyag között a kopás jelensége játszódik le, melynek lényege, hogy mindkét anyagból mikroszkopikus nagyságú szemcsék válnak le, tehát végeredményben az anyagok tömege csökken. Maga a kopás jelensége egyike az anyagvizsgálat eddig legkevésbé tisztázott területeinek, melynek oka, hogy a kopást oly sok tényező befolyásolja, hogy egy abszolút kopási mérőszámot megállapítani és ezt a számot az anyag más tulajdonságaival kapcsolatba hozni ez idő szerint még nem sikerült. Kétségtelen, hogy minél nagyobb egy anyag keménysége, általában annál kisebb a kopása, egyébként azonos viszonyok között. Ez a szabály azonban nem általános, és ez alól is van kivétel (*Gillemot, 1955*).

A koptató vizsgálat tehát mindig csak durva összehasonlító vizsgálat, amely megbízható eredményeket csak akkor ad, ha pontosan azonos körülmények között történik az összehasonlítás, és a kapott értékeket a gyakorlatban csak akkor lehet felhasználni, ha maga a koptató kísérlet is a gyakorlati igénybevételhez hasonló módon folyt le. Ennek megfelelően a koptató gépeknek igen sok fajtája van.

A kopás mérőszámául általában az időegység alatt lekopott anyag tömegét adják meg.

#### **3.7.1. A koptató vizsgálatához használt berendezés ismertetése**

A gyakorlati igénybevételt leginkább megközelítő körülmények csak akkor biztosíthatók, ha a koptató berendezés is egy valóságos műtrágyaszóró gép, melynek röpitőtárcsájára felszerelhetők a különböző anyagú lapátok. Nem lenne szerencsés ugyanakkor a kísérlethez műtrágyát használni, mivel a műtrágyaszemcsék két, háromszori áteresztés után porszerűvé válnának. A több órán át végzett vizsgálat nagy műtrágya felhasználással járna, ugyanakkor a környezetszennyezés is jelentős lenne.

A vizsgálati módszer lényege tehát a következő: egy röpitőtárcsás műtrágyaszóró gép tartályából (1), állítható nagyságú adagoló résen át folyamatosan áramlik egy adott koptató anyag a szóró szerkezetre. A röpitőtárcsát villanymotor (2) forgatja, a gyakorlatban alkalmazott fordulatszámmal. A tárcsára egyidejűleg 4 db, azonos alakú és

méretű szórólapát szerelhető fel. Célszerű, ha a 4 db lapát anyaga különböző, így egyidejűleg 4 különböző anyag kopása hasonlítható össze, garantáltan azonos körülmények között.

A szóró szerkezetet ponyva (5) burkolja, alatta pedig egy, a koptató anyag felfogására alkalmas tölcser (6) van elhelyezve, amely egy serleges felhordóhoz (3), az pedig a tartályba vezeti vissza az anyagot (4) (28., 29. ábra., 8. táblázat)



28. ábra. A koptató berendezés előlnézete



29. ábra. A koptató berendezés oldalnézete

8. táblázat. A berendezés műszaki és üzemeltetési paramétere

Befoglaló méretek [m]	5 x 2,4 x 2,0
Tartály térfogat [l]	500
Tárcsák száma	1
Szórólapátok száma	4
Röpítőtárcsa fordulatszáma [1/min]	790

### 3.7.2. A vizsgált lapátanyagok

Jelölés	Lapát1	Lapát2	Lapát3	Lapát4
Szabványos megnevezés	X120Mn13 MSZ 520	X5CrNi1810 MSZEN 10088-1	St02F MSZ 23	X5CrNiTi1810 MSZEN 10088-1
Leírása	Kopásálló szerkezeti acél	Korrózióálló acél 2 mm vastag	Hidegen hengerelt táblalemez	Korrózióálló acél 4 mm vastag
Brinell keménység	208	153	118	171
Szakító szilárdság [N/mm <sup>2</sup> ]	680	530	360	560

### 3.7.3. A koptató anyag

A kísérlethez koptatóanyagként olyan szemcsés anyagot választottam, amelynek átlagos szemcsemérete hasonló a műtrágyákéhoz, viszont a műtrágyákkal ellentétben hosszú időn át megőrzi eredeti fizikai jellemzőit.

A koptató anyag megnevezése: Szűrőhomok NC 1,6-3.

A megnevezésben lévő számjelzés a termék szemcseméretének jellemző alsó és felső határára utal. Az anyag térfogattömege: 1,6 kg/dm<sup>3</sup>

Származási helye: Kvarchomok Bányászati és Feldolgozó Kft. Sóskút.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. Elméleti összefüggések az adagolási hely, a szórólapátok beállítási szöge és a szórás szélesség között

Kéttárcsás szóró szerkezeteknél az adagolási hely és a szórólapátok beállítási szöge együttesen határozzák meg

- a szemcsék tárcsán való tartózkodásának idejét,
- a tárcsa elfordulási szögét ezen idő alatt és
- a szemcsék tárcsáról való leválási sebességének nagyságát és irányát,

amelyektől a szórás szélessége és egyenletessége függ.

Mindezek miatt célszerű a két tényező hatását együttesen vizsgálni.

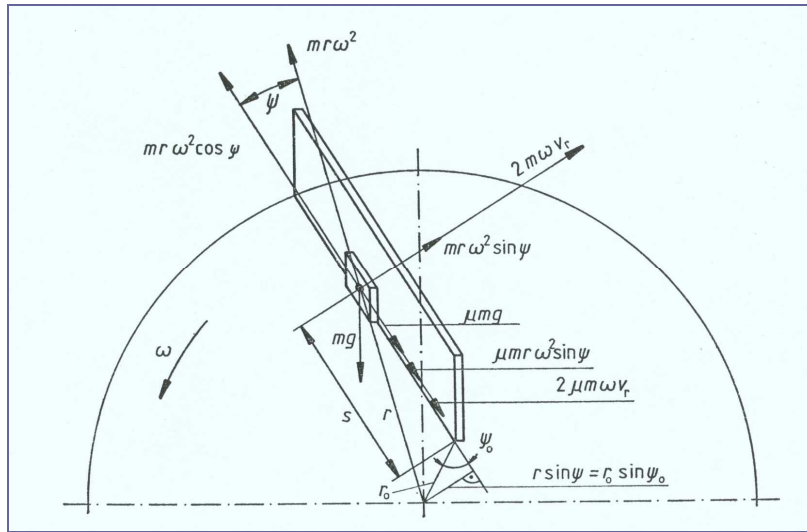
A röpítőtárcsa működésének technológiai folyamatát két fő fázisra lehet osztani:

- a.) a szemcse mozgása a tárcsán/lapátokon és
- b.) a levegőben való repülése a tárcsáról való leválás után.

A szemcsék mozgását a tárcsán elsősorban a lapát oldalától rájuk ható erők határozzák meg. A lapátok az esetek többségében a sugárhoz képest bizonyos szögben vannak beállítva. Az ilyen elhelyezés csökkenti a lehetőségét annak, hogy az egyes szemcsék a lapáttal való kölcsönhatás nélkül váljanak le a tárcsáról, azaz minimumra csökkenti a szemcsék rendellenes mozgását.

A tárcsa középpontjától egy adott pillanatban  $r$  távolságra lévő,  $m$  tömegű szemcsére az  $\omega$  szögsebességű tárcsán a következő erők hatnak (**30. ábra**):

1. gravitációs erő:  $m \cdot g$
2. centrifugális erő:  $m \cdot r \cdot \omega^2$  (ennek lapátirányú komponense a szemcsét elmozdítani igyekszik, míg lapátra merőleges komponense a lapáthoz szorítja azt)
3. Coriolis erő:  $2 \cdot m \cdot v_r \cdot \omega$  ahol  $v_r$  a szemcse lapát menti relatív sebessége
4. a szemcsére ható súrlódási erők:
  - a tárcsával  $\mu \cdot m \cdot g$
  - a lapáttal, a centrifugális erő hatására:  $\mu \cdot m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \psi$
  - a lapáttal a Coriolis erő hatására:  $2 \cdot \mu \cdot m \cdot v_r \cdot \omega$



30. ábra. A röpítótárcsán lévő műtrágyaszemcsére ható erők

A szemcse akkor mozdul el, illetve gyorsul fel a lapát mentén, ha a centrifugális erő lapát menti komponense nagyobb a súrlódási erők összegénél, azaz:

$$F = m \cdot a = m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos\psi - \mu \cdot m \cdot g - \mu \cdot m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin\psi - 2 \cdot \mu \cdot m \cdot v_r \cdot \omega$$

19. egyenlet

ahol  $\psi$  a szemcsén átmenő sugár és a lapát közötti szög.

Tekintettel arra, hogy elmozdulás közben  $r$  és  $\psi$  is változik, vezessük be a lapát belső szélénél adódó kezdő értékkel:

$$r \cdot \cos\psi = s + r_0 \cdot \cos\psi_0,$$

$$r \cdot \sin\psi = r_0 \cdot \sin\psi_0 = \text{konstans},$$

ahol:  $s$  a szemcse távolsága a lapát tárcsaközéppont felőli szélétől.

A mozgásegyenletet osszuk  $m$ -mel és helyettesítsük be a fenti kifejezéseket:

$$a = \omega^2 \cdot (s + r_0 \cdot \cos\psi_0) - \mu \cdot g - \mu \cdot \omega^2 \cdot r_0 \cdot \sin\psi_0 - 2 \cdot \mu \cdot v_r \cdot \omega_r$$

$$a = \omega^2 \cdot s + \omega^2 \cdot r_o \cdot \cos \psi_o - \mu \cdot g - \mu \cdot \omega^2 \cdot r_o \cdot \sin \psi_o - 2 \cdot \mu \cdot \omega \cdot v_r$$

vagy:

$$a + 2 \cdot \mu \cdot \omega \cdot v_r - \omega^2 \cdot s = r_o \cdot \omega^2 \cdot (\cos \psi_o - \mu \cdot \sin \psi_o) - \mu \cdot g$$

De:

$a = s''$  és  $v_r = s'$ , azaz az út második és első differenciálhányadosa és  $\mu = \operatorname{tg} \rho$  bevezetésével, illetve

$$\cos \psi_o - \sin \psi_o \cdot \operatorname{tg} \rho = \frac{\cos \psi_o \cdot \cos \rho - \sin \psi_o \cdot \sin \rho}{\cos \rho} = \frac{\cos(\psi_o + \rho)}{\cos \rho}$$

helyettesítéssel:

$$s'' + 2 \cdot \mu \cdot \omega \cdot s' - \omega^2 \cdot s = r_o \cdot \omega^2 \cdot \frac{\cos(\psi_o + \rho)}{\cos \rho} - \mu \cdot g$$

20. egyenlet

összefüggést kapjuk.

A kapott inhomogén differenciálegyenletet a következők szerint megoldva, felírható a baloldali rész karakterisztikus egyenlete:

$$\lambda^2 + 2 \cdot \mu \cdot \omega \cdot \lambda - \omega^2 = 0$$

Ebből a karakterisztikus egyenlet gyökei:

$$\lambda_1 = \omega \cdot (\sqrt{1 + \mu^2} - \mu)$$

$$\lambda_2 = \omega \cdot (-\sqrt{1 + \mu^2} - \mu)$$

Amennyiben a karakterisztikus egyenlet gyökei valósak és egymástól különbözőek, akkor az általános megoldást az

$$s = C_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + C_2 \cdot e^{\lambda_2 t}$$

egyenlet adja, ahol:

$C_1$  és  $C_2$  állandók,  $t$  pedig az elmozdulás időtartama [s].

A differenciálegyenlet jobboldala állandó, így helyettesíthető  $K$ -val:

A  $K$  meghatározásához behelyettesítjük azt a 20. egyenletbe, figyelembe véve, hogy ebben az esetben  $s' = 0$  és  $s'' = 0$  (állandók deriváltjai):

$$0 + 2 \cdot \mu \cdot \omega \cdot 0 - \omega^2 \cdot K = r_0 \cdot \omega^2 \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho} - \mu \cdot g,$$

ahonnan

$$K = \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} - r_0 \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho}$$

Ezt figyelembe véve:

$$s = C_1 \cdot e^{\lambda_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{\lambda_2 \cdot t} + \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} - r_0 \cdot \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho}$$

21. egyenlet

A  $C_1$  és  $C_2$  értékét a  $t = 0$  időpontból határozzuk meg, amikor  $s = s' = 0$ . Ekkor az első feltétel alapján:

$$0 = C_1 \cdot 1 + C_2 \cdot 1 + \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} - r_0 \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho}, \text{ vagy}$$

$$C_1 = r_0 \cdot \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho} - \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} - C_2$$

A második feltétel figyelembevételével ( $t = 0; s = 0$ )

$$s' = \lambda_1 \cdot C_1 \cdot e^{\lambda_1 \cdot t} + \lambda_2 \cdot C_2 \cdot e^{\lambda_2 \cdot t},$$

$$0 = \lambda_1 \cdot C_1 + \lambda_2 \cdot C_2,$$

vagy

$$C_1 = -\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot C_2$$

A fenti egyenletek közös megoldásaként a következőket kapjuk (ha a két egyenletet kivonjuk egymásból):

$$0 = r_0 \cdot \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho} - \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} - C_2 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot C_2,$$

ahonnan :

$$C_2 \cdot \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) = r_0 \cdot \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho} - \frac{\mu \cdot g}{\omega^2}$$

vagy

$$C_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot \left( r_0 \cdot \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho} - \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} \right)$$

és

$$C_1 = -\frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_1} \left( r_0 \cdot \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho} - \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} \right)$$

Behelyettesítve  $C_1$ -et és  $C_2$ -t a 21. egyenletbe a következőt kapjuk:

$$s = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \left( r_0 \cdot \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho} - \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} \right) \cdot (\lambda_1 \cdot e^{\lambda_1 t} - \lambda_2 \cdot e^{\lambda_2 t}) - \left( r_0 \cdot \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho} - \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} \right)$$

$$s = \left( r_0 \cdot \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho} - \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} \right) \cdot \left[ \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} (\lambda_1 \cdot e^{\lambda_2 t} - \lambda_2 \cdot e^{\lambda_1 t}) - 1 \right]$$

22. egyenlet

A szemcsék relatív mozgási sebessége a lapátok mentén a következő egyenletből határozható meg:

$$s' = v_r = \left( r_0 \cdot \frac{\cos(\psi_0 + \rho)}{\cos \rho} - \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} \right) \cdot \left[ \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot (e^{\lambda_2 t} - e^{\lambda_1 t}) \right]$$

23. egyenlet

A relatív mozgási sebesség meghatározásához ismerni kell  $t$ -t, a szemcse tárcsán való tartózkodásának idejét. Ezt az időt megkaphatjuk a 22. egyenlet felhasználásával, ha az egyenlet baloldalába behelyettesítjük  $s$  értékét, amikor a szemcsék megközelítik a tárcsa szélén az  $R$  rádiuszt ( $s = R$ )

Pitagorasz tételének felhasználásával, a **30. ábra** alapján:

$$(s + r_o \cdot \cos \psi_o)^2 = r^2 - r_o^2 \cdot \sin^2 \psi_o$$

ebből a sugár pillanatnyi értéke:

$$r = \sqrt{(s + r_o \cdot \cos \psi_o)^2 + r_o^2 \cdot \sin^2 \psi_o}$$

behelyettesítve ebbe az  $s$  egyenletét a 22. egyenlet szerint a következőt kapjuk:

$$R = \sqrt{\left\{ \left[ r_o \frac{\cos(\psi_o + \rho)}{\cos \rho} - \frac{\mu \cdot g}{\omega^2} \right] \cdot \left[ \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot (\lambda_1 \cdot e^{\lambda_2 t} - \lambda_2 \cdot e^{\lambda_1 t}) - 1 \right] + r_o \cdot \cos \psi_o \right\}^2 + r_o^2 \cdot \sin^2 \psi_o}$$

24. egyenlet

Így ha megoldjuk a 24. egyenletet  $t$ -re vonatkozóan, akkor megkapjuk a szemcse tárcsán való tartózkodásának idejét, ezzel a  $v_r$  relatív sebességet.

Ez alatt az idő alatt a tárcsa  $\omega t$  szöggel fordul el, ezen kívül, a szemcse a lapáton is elmozdul  $\psi_0 - \psi_1$  szögben, ahol  $\psi_1$  a  $\psi$  szög értéke a tárcsa szélén.

Következésképpen, abszolút értelemben a szemcsék szögelfordulása két szögből tevődik össze:

$$\theta = \omega \cdot t \pm (\psi_o - \psi_1)$$

ahol

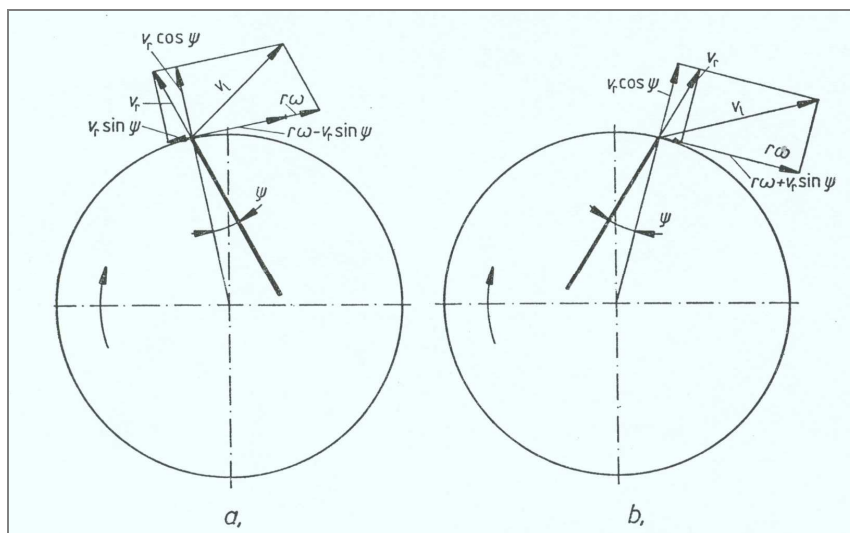
$\psi_o$  a lapát belső élének szöge,

$\psi_1$ : a lapát külső élének szöge.

$$\psi_1 = \arcsin\left(\frac{r_o}{R} \cdot \sin \psi_o\right)$$

25. egyenlet

A  $v_r$  relatív sebesség ismeretében meghatározható a lapátot elhagyó szemcse leválási sebessége (**31.ábra**), hátra (**a** ábra) és előrehajló (**b** ábra) lapátózásnál.



31. ábra. A leválási sebesség alakulása, hátra és előre hajló lapátozás esetén

$$v_l = \sqrt{(v_k \pm v_r \cdot \sin \psi)^2 + (v_r \cdot \cos \psi)^2}$$

26. egyenlet

Radiális lapátozásnál  $\psi = 0$ , így a leválási sebesség

$$v_{lrad} = \sqrt{v_k^2 + v_r^2}$$

A kifejezésekből látható, hogy a leválási sebesség az előrehajló lapátokon a legnagyobb. A tárcsáról  $v_l$  leválási sebességgel lerepülő szemcse a vízszintes vagy a ferde hajítás törvényszerűségeit követve mozog, attól függően, hogy a tárcsa felülete sík vagy kúpos. A műtrágyaszemcsékre a tárcsáról való leválás pillanatában a nehézségi erő és a levegő ellenállás hat.

Ha a légellenállás hatását elhanyagoljuk, akkor a hajítás távolsága:

$$x = L = v_l \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}$$

ahol:

$H$ : a tárcsák talaj feletti magassága [m].

A légellenállás gátolja a szemcsék mozgását, azaz csökkenti a hajítás távolságát. Értéke:

$$F_1 = k \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

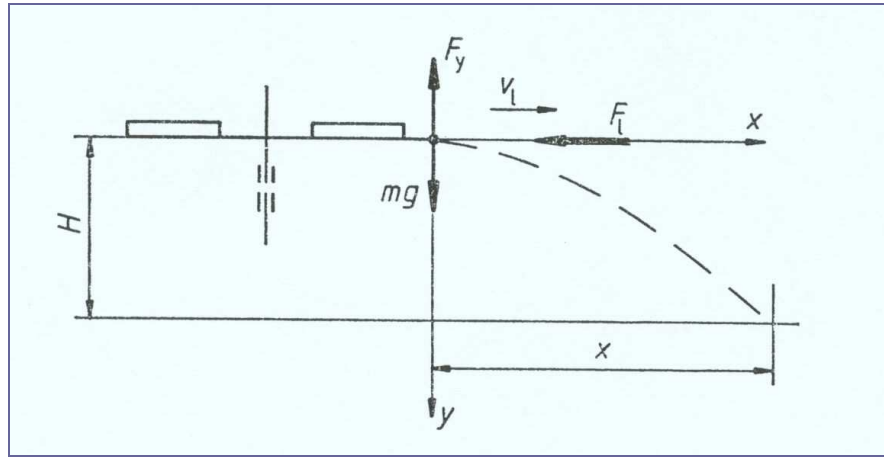
egyenlettel számítható, ahol:

$k$ : a szemcse légellenállási tényezője,

$\rho$ : a levegő sűrűsége,

$A$ : a szemcse keresztmetszete,

$v$ : a szemcse sebessége.



**32. ábra. A műtrágyaszemcse mozgáspályája a légellenállás figyelembevételével**

A szemcse mozgásegyenletét a **32. ábra** alapján felírva:

$$m \cdot a = -F = -k \cdot \rho \cdot A \cdot v^2,$$

ahonnan az

$$a = -\frac{k \cdot \rho \cdot A}{m} \cdot v^2 = -k_v \cdot v^2$$

összefüggést kapjuk, ahol:

$$k_v = \frac{k \cdot \rho \cdot A}{m}$$

a tömegre vonatkoztatott aerodinamikai tulajdonság, vagy vitorlahatási tényező.

Mivel az  $a$  az út ( $x$ ) másodfokú differenciálhányadosa:

$$x'' = \frac{dv}{dx} v,$$

így

$$v \cdot \frac{dv}{dx} = -k_v \cdot v^2.$$

A változók szétválasztásával:

$$\frac{dv}{v} = -k_v \cdot dx .$$

Integrálva:

$$\ln v = -k_v \cdot x + \ln C_1$$

és

$$\ln v = \ln e^{-k_v \cdot x} + \ln C_1$$

ahonnan.

$$v = C_1 \cdot e^{-k_v \cdot x}$$

A kezdeti értékekből, -amikor  $x = 0$ , szemcse sebessége  $v = v_l$ , leválási sebesség\_-  
kapjuk a szemcse röppálya menti sebességét:

$$v = v_l \cdot e^{-k_v \cdot x} .$$

A szemcse repülési távolságának meghatározásához írjuk:

$$\frac{dx}{dt} = v_l \cdot e^{-k_v \cdot x} ,$$

vagy

$$e^{k_v \cdot x} dx = v_l dt .$$

Integrálás után

$$\frac{1}{k_v} \cdot e^{k_v \cdot x} = v_l \cdot t + C .$$

A kezdeti értékekkel:  $t = 0$ -nál  $x = 0$  és  $C = \frac{1}{k_v}$ . Ezzel:

$$\frac{1}{k_v} \cdot e^{k_v \cdot x} = v_l \cdot t + \frac{1}{k_v} .$$

Rendezve és logaritmizálva:

$$k_v \cdot x = \ln(k_v \cdot v_l \cdot t + 1),$$

és így a szemcse röppályája.

$$x = \frac{\ln(k_v \cdot v_l \cdot t + 1)}{k_v}.$$

A  $t = \frac{2 \cdot H}{g}$  időértékkel:

$$x = L = \frac{\ln \left[ k_v \cdot v_l \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} + 1 \right]}{k_v}$$

27. egyenlet

A fent levezetett egyenletek alapján, melyek egyetlen szemcsére vonatkoznak, a következő megállapítások tehetők:

A szórás szélesség növelhető, ha növeljük a lapát menti relatív sebességet.

A lapát menti relatív sebesség a következőktől függ (24, 25. egyenlet):

- Az adagolási hely koordinátáitól ( $r_o$ ;  $\psi_o$ )
- A műtrágyaszemcsék és a lapát közötti súrlódási tényező nagyságától ( $\mu$ ;  $\rho$ )
- A röpítőtárcsa szögsebességétől ( $\omega$ )
- A szórólapátok hosszától ( $R$ )
- A szórólapátok beállítási szögétől ( $\psi$ ).

Ez utóbbi három tényező a lapát menti relatív sebéségen túl a szemcsék leválási sebességére is hat (26. egyenlet).

A 26. egyenlet szerint a leválási sebesség a sugárirányhoz képest forgásirányban előreállított lapátokkal a legnagyobb, ugyanakkor forgásirányban hátrafelé állított lapátokkal a legkisebb. Ennek ellenére, a továbbiakban csak a hátraállított lapátokkal, illetve az állítás mértékével foglalkozom, mivel ma már bizonyított tény, hogy a sugárirányba, illetve előreállított lapátokkal ugyan nagyobb a szórásszélesség, de a szórás egyenlőtlenség is oly mértékben megnő, hogy átfedésekkel sem korrigálható.

A szórásszélességre a 27. egyenlet figyelembevételével a leválási sebéségen túl a tárcsák talajfelszíntől (a kísérletsorozatban a mérőtálca sortól) mért távolsága, és a műtrágyaszemcsék vitorlahatási tényezője hat.

A gyakorlatban a tárcsák talaj feletti magasságát annak figyelembevételével állítják be, hogy ne ütközzenek a talajba, illetve a szemcsék ne legyenek túlzottan kitéve a szél

hatásának. Mivel a 27. egyenlet és számos kutató vizsgálati eredménye alapján hatása nem jelentős, így jelen kísérletsorozat során értéke nem változott.

A műtrágyaszemcsék vitorlahatási tényezője a mérési sorozatban természetesen műtrágyánként és szemcseméretenként eltérő volt.

A fent felsorolt, szórásszélességet befolyásoló tényezők közül nem vizsgáltam a súrlódási tényező hatását, illetve feltételeztem, hogy egy adott műtrágya súrlódási tényezője az adott, korrózióálló acél lapátanyaggal állandó (közelítő számításokhoz a 0,22-os értéket vettem alapul). Szintén végig állandó volt a röptőtárcsák szögsebessége, illetve fordulatszáma (840 1/min)

#### **4.2. A szórásszélesség és a munkaszélesség alakulása az adagolási hely függvényében**

A méréssorozatot a következő feltételekkel végeztem a kísérleti géppel:

A műtrágya típusa:	Ammóniumnitrát
Szórólapátok száma:	2
Szórólapátok hossza:	400/300 mm
Szórólapátok szöge:	állandó (leghátsó helyzet)
A műtrágya tömegárama:	állandó (47,44 kg/min)

A méréssorozat eredményeként a vizsgált adagolási helyeken a **33. ábra** szerinti munkaszélesség értékeket kaptam.

J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	
										9
										8
										7
				15	18	14	16	17	17	6
			14	14	20	17	18	18	21	5
			17	15	24	20	22	22	22	4
				17	24	21	25	26	25	3
			13	19	23	14	12	14	12	2
					15					1
										0

**33. ábra. A munkaszélesség alakulása a különböző adagolási helyeken**

A továbbiakban összefüggést kerestem az egyes adagolási helyek pozíciója és a kapott munkaszélesség értékek között.

Az egyes adagolási hely koordinátákat a **2. sz. melléklet** tartalmazza.

Az alábbi oszlopdiagramokban, a jobboldali ábrarészben jelölt helyek sugár és szög értékei valamint a mért munkaszélesség értékek közötti összefüggést ábrázoltam (**34. ábra**).

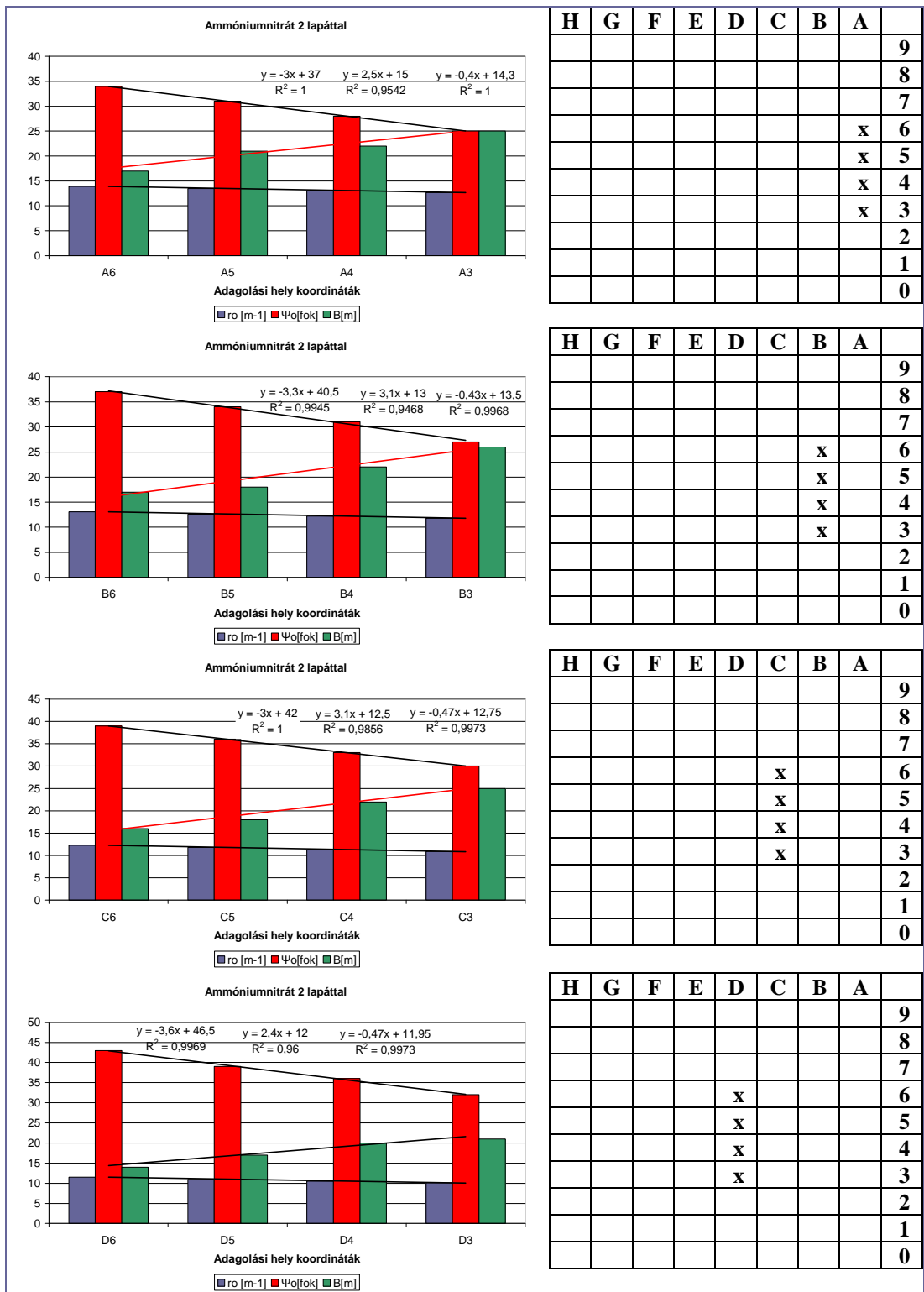
Az oszlopdiagramokból látható, hogy az adott irányban szoros, lineáris összefüggés van az adagolási helyek (A6, A5 stb.) sugár és szög értékei ( $r_o$ ;  $\psi_o$ ) között.

Ennél azonban lényegesebb, hogy szintén szoros az összefüggés a sugár és szög értékek valamint a munkaszélesség között.

Megállapítható, hogy a sugár illetve szög értékek csökkenésével nő a munkaszélesség.

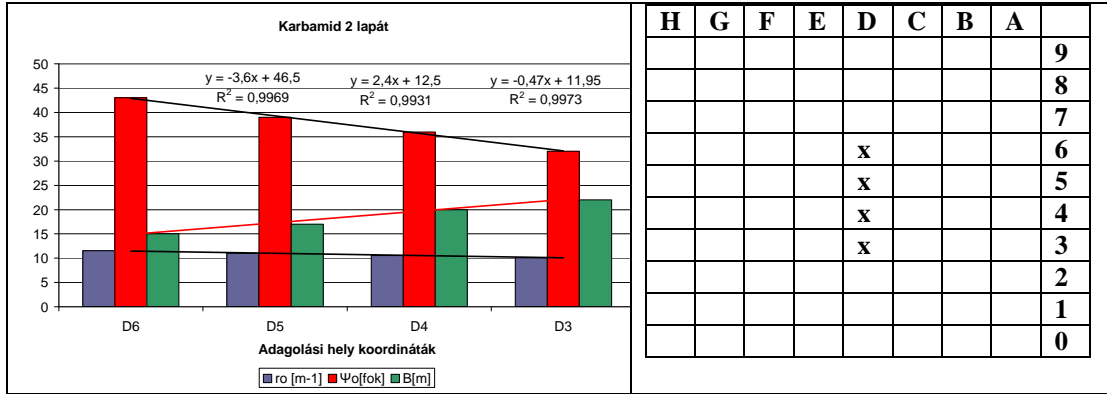
Az összefüggés szerint tehát az adott irányban változtatva az adagolási helyet a tárcsaközépponttól való távolság és a tárcsaközéppontokat összekötő egyenestől mért hajlásszög lineárisan csökken, miközben a munkaszélesség ugyancsak lineárisan nő.

Más műtrágya típusokkal és háromlapátos rendszerben is ugyanezt az eredményt kaptam.

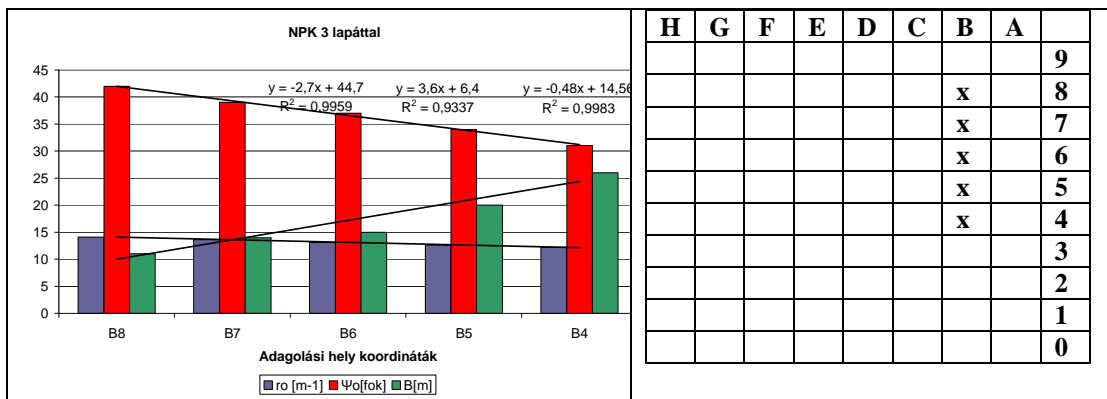


34. ábra. Az adagolási hely és a munkaszélesség közötti összefüggés

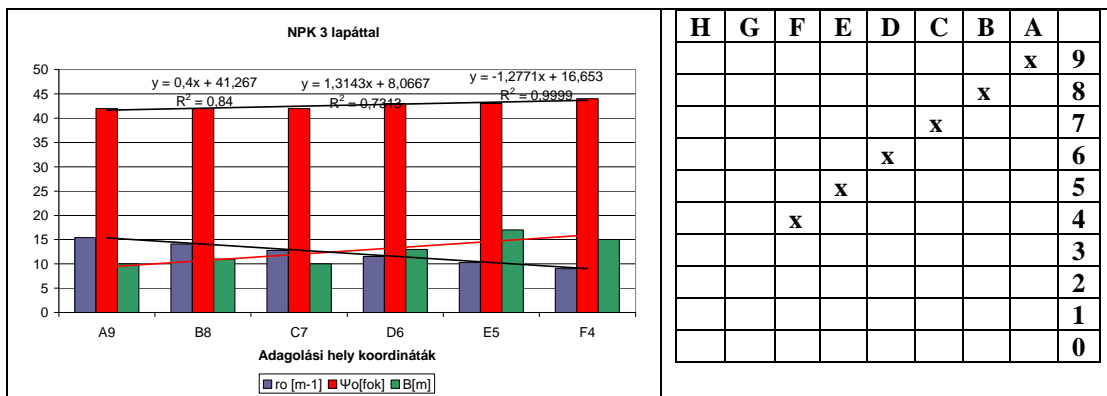
A következő ábrákon látható, hogy karbamid és NPK műtrágyákkal is hasonló eredményt kapunk, függetlenül attól, hogy 2 vagy 3 lapátos a szóró szerkezet (35., 36. ábra)



35. ábra. Az adagolási hely és a munkaszélesség összefüggése karbamid műtrágyával



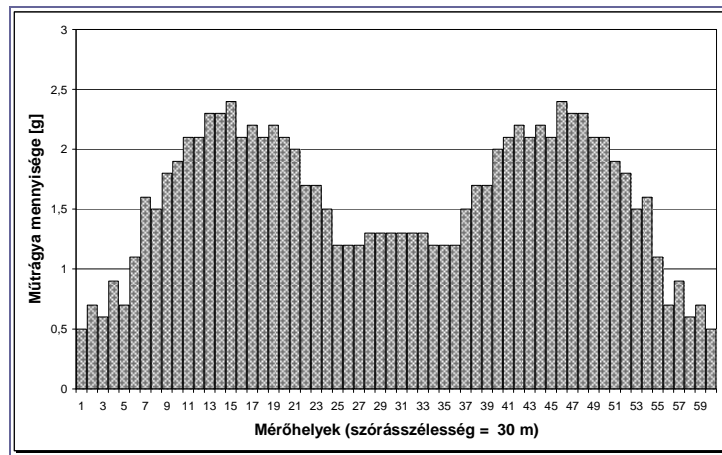
36. ábra. Az adagolási hely és a munkaszélesség összefüggése NPK műtrágyával  
 Összehasonlításként megvizsgáltam azt az esetet, amikor az adagolási hely szögállása közel állandó, ugyanakkor a tárcsaközéptől való távolság lineárisan csökken. Ebben az esetben nem egyértelmű az összefüggés.



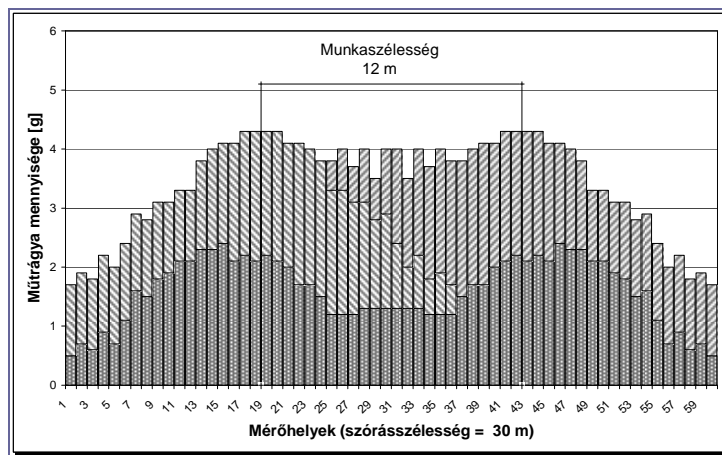
37. ábra. Az adagolási hely sugárirányú változtatásának hatása

A **35., 36., 37. ábrákon** közölt diagramokból jól látható, hogy a munkaszélesség az adagolási hely koordinátáinak változtatásával egy bizonyos értékig lineárisan nő.

Ezen a ponton azonban külön kell beszélni a szórásszélességről és a munkaszélességről. Az elméleti összefüggések és a mérési eredmények szerint is, az adagolási hely további elmozdítása a szórás irányába tovább növelheti szórásszélességet. Ilyenkor azonban a műtrágyaszemcsék a szóráskép szélei felé mozdulnak el, ugyanakkor a szóráskép közepére kevesebb műtrágya kerül (**38. ábra**). Az ilyen jellegű szóráskép csak többszörös átfedéssel egyenlíthető ki a megkívánt mértékben, így a munkaszélesség természetesen jelentősen lecsökken. (**39. ábra**).



**38. ábra.** Keresztirányú szóráskép A2 adagolási helyen



**39. ábra.** Keresztirányú szóráskép többszöri átfedéssel

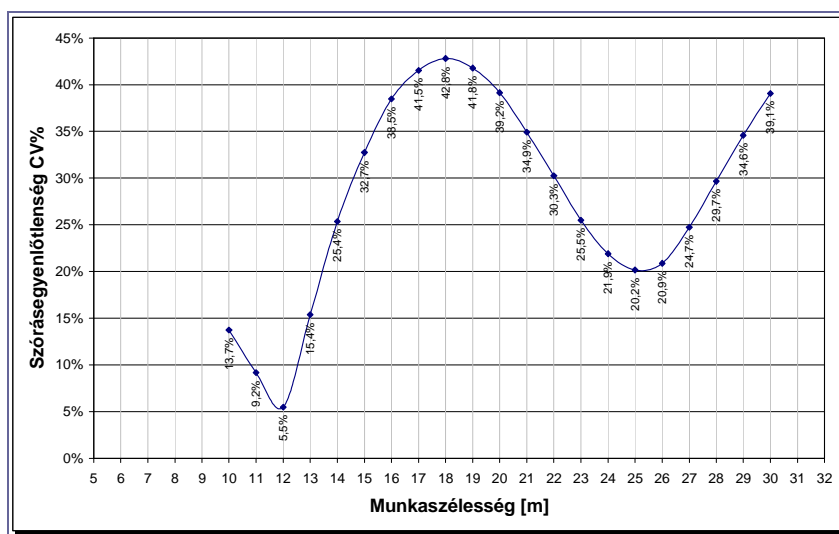
### 4.3. A lapátok beállítási szögének hatása a szórásszélesség és a munkaszélesség nagyságára

A 26. egyenlet szerint a leválási sebesség a sugárirányhoz képest forgásirányban előreállított lapátokkal a legnagyobb, ugyanakkor forgásirányban hátrafelé állított lapátokkal a legkisebb. Ennek ellenére, a továbbiakban csak a hátraállított lapátokkal, illetve az állítás mértékével foglalkozom, mivel ma már bizonyított tény, hogy a sugárirányba, illetve előreállított lapátokkal ugyan nagyobb a szórásszélesség, de a szórás egyenlőtlenség is oly mértékben megnő, hogy átfedésekkel sem korrigálható.

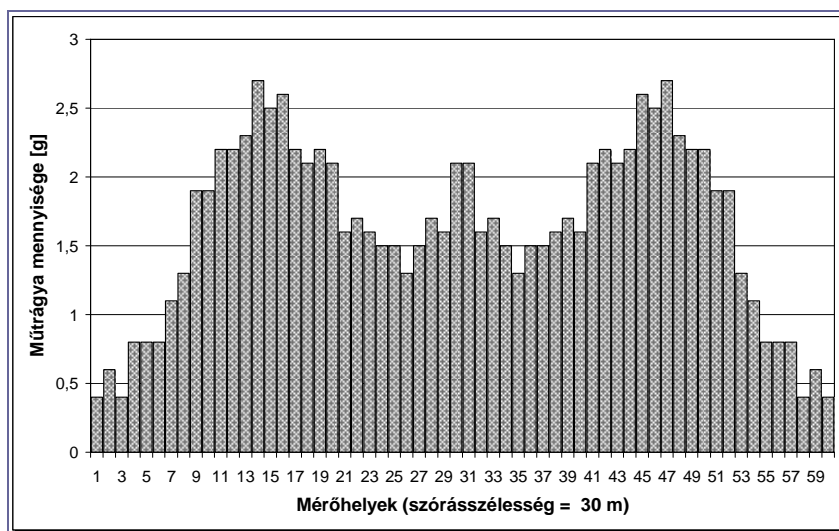
A mérésorozatot a következő feltételekkel végeztem a kísérleti géppel:

A műtrágya típusa:	Ammóniumnitrát
Szórólapátok száma:	2
Szórólapátok hossza:	400/300 mm
A műtrágya tömegárama:	állandó (47,44 kg/min, 3-as adagoló állás)
Adagolási hely	állandó (C2)

A kísérletsorozathoz nem véletlenül választottam a C2 adagolási helyet. Ennél az adagolási helynél a szórásgörbének két minimuma van: nevezetesen 12 méternél és 25 méternél (**40. ábra**). A szórás elméletének levezetése után ismert, hogy a lapátok szögének változtatása a forgás irányába, növeli a szórásszélességet. A mérésorozat eredménye ezt alátámasztja, hiszen a 20%-os szórás egyenlőtlenség mellett a munkaszélesség 25 méterről 28, és 29 méterre nőtt, amikor a lapátokat 5, majd 5 fokkal előre állítottuk a forgásirány felé.

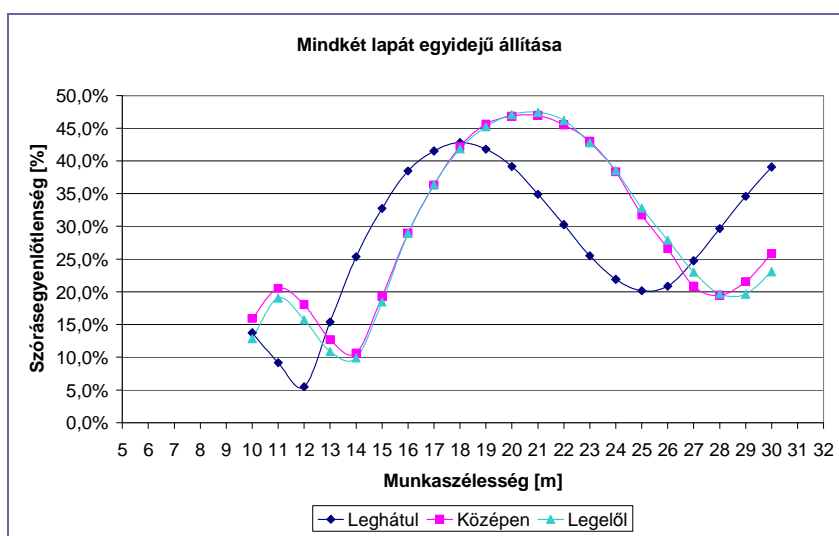


40. ábra. Szórásgörbe C2 adagolási helyen



**41. ábra. Keresztirányú szóráskép C2 adagolási helyen, mindkét lapát leghátsó helyzetében**

Meg kell azonban jegyezni, hogy a 20%-os szórás egyenlőtlenség nem megengedett, így az elért munkaszélességek sem vehető figyelembe, mint eredmény.

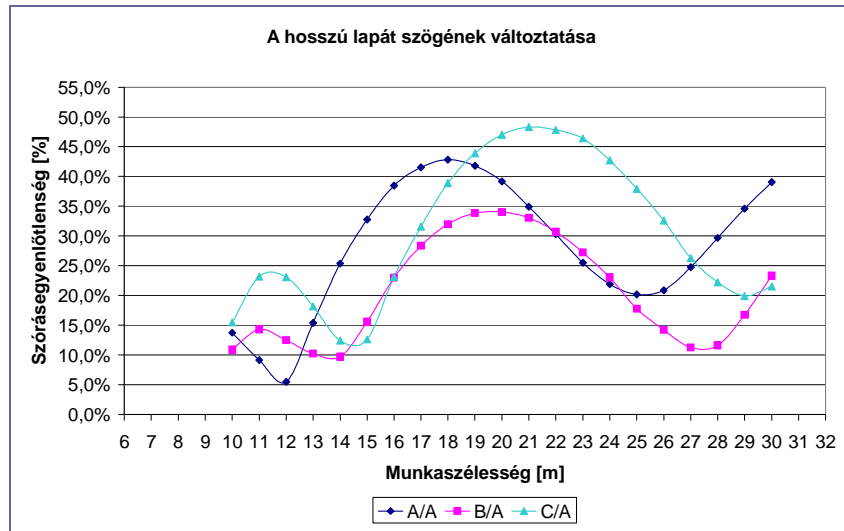


**42. ábra. A két szórólapát szögének egyidejű állítása**

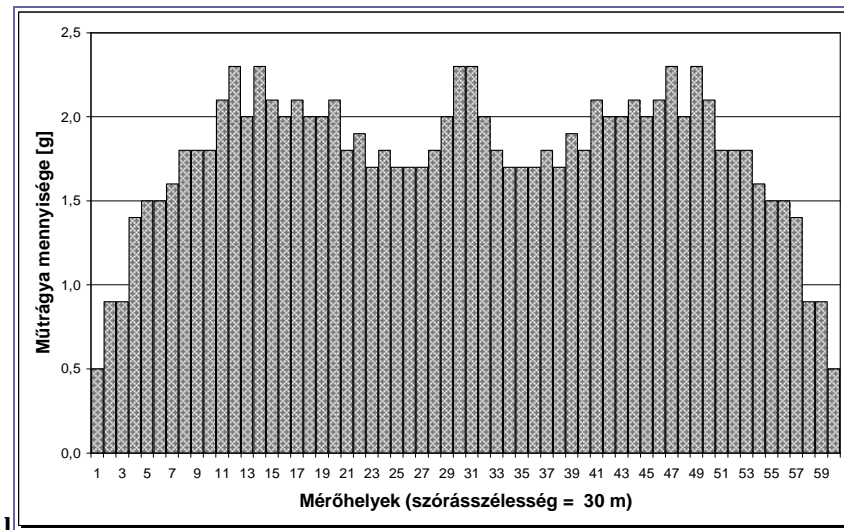
A további mérések alapja az a fizikai törvényszerűség, hogy a két szórólapát közül a hosszabbik nagyobb szélességben szór, tehát a szóráskép széleire is juttat műtrágyát, míg a rövidebbik a szóráskép közepét kellene, hogy kitöltse, tehát nem cél, hogy messzebbre szórjon. Az alapul szolgáló, **41. ábrán** látható keresztirányú szórásképen jól megfigyelhető, hogy a nagy szórásnévesség mellett a szóráskép közepe „beesett”,

emiatt nagy a szórás egyenlőtlenség. A „beesés” jelenségét már az adagolási hely is előidézi, ugyanakkor a lapátok szögének optimális állításával mértéke csökkenthető.

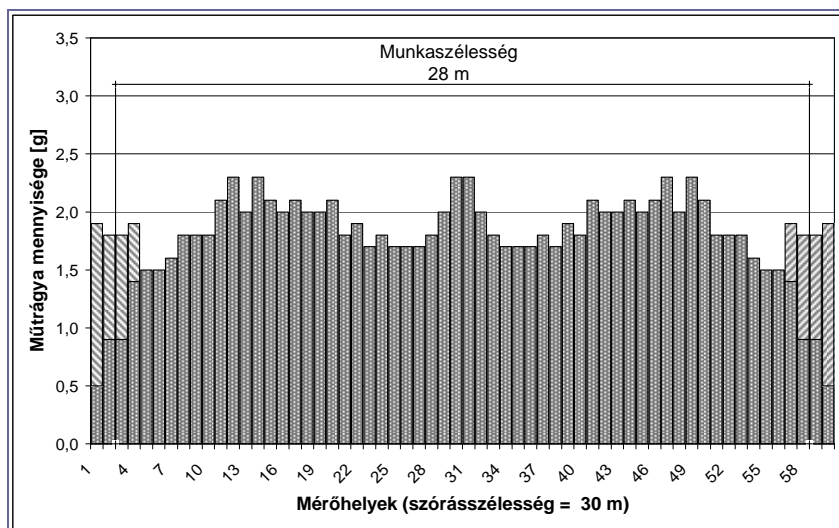
A következő diagramban látható szórás görbék szerint a hosszú lapátok szögének változtatásával a munkaszélesség jelentősen nő. A B/A lapátbeállítással 28 méter munkaszélesség érhető el, 15% alatti szórás egyenlőtlenség mellett.



43. ábra. A munkaszélesség alakulása a hosszú lapátok szögének változtatásával



44. ábra. A keresztirányú szórás kép közepének kitöltése



45. ábra. Keresztirányú szórás kép 28 méter munkaszélességnél

#### 4.4. A szórólapátok hosszának megválasztási szempontjai, különös tekintettel a munkaszélesség növelésre

A fizika törvényszerűségei szerint a lapátok hosszának változtatása a munkaszélesség növelés legfontosabb eszköze lehet. A kerületi sebesség növelését a lapát hossz növelésével célszerű elérni. A lapátok hossza azonban konstrukciós okokból nem növelhető bizonyos határon túl. 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 egyenlőtlenséget.

Az alábbiakban ismertetett mérésorozat célja az volt, hogy meghatározzuk a lapáthossz változtatásának hatását a munkaszélességre, és vizsgáljuk az egy tárcsán alkalmazott legkedvezőbb lapáthossz-összetételt.

A mérésorozatot a következő feltételekkel végeztem a kísérleti géppel:

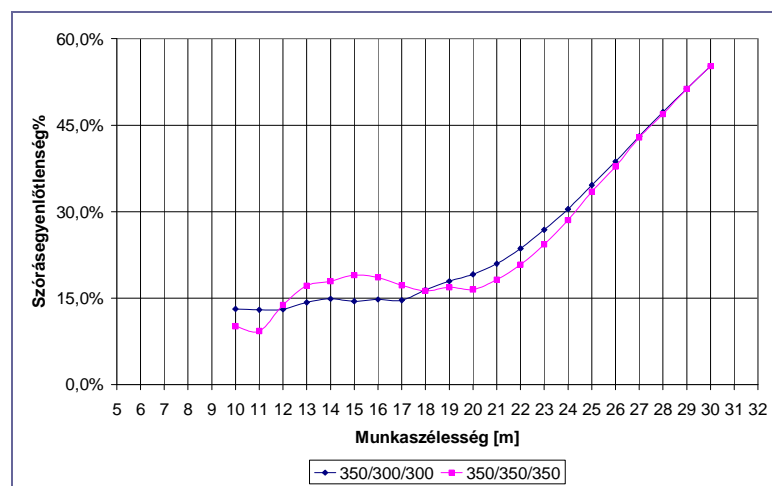
A műtrágya típusa:	NPK
Szórólapátok száma:	3
Szórólapátok hossza:	változó
A műtrágya tömegárama:	állandó (47,44 kg/min)
Adagolási hely:	állandó (A5)
Lapát helyzet:	állandó (mindhárom lapát leghátsó helyzetben)

A szórólapátok hosszának változtatására a következő sorrendben került sor:

- Mindhárom lapát azonos hosszúságú: 350/350/350 mm
- Egy hosszabb és két rövidebb lapát: 350/300/300 mm
- Az egyik lapát hosszának további növelése: 400/350/350 mm
- A rövidebb lapátok hosszának csökkentése. 400/300/300 mm
- Három, különböző hosszúságú lapát: 400/350/300 mm.

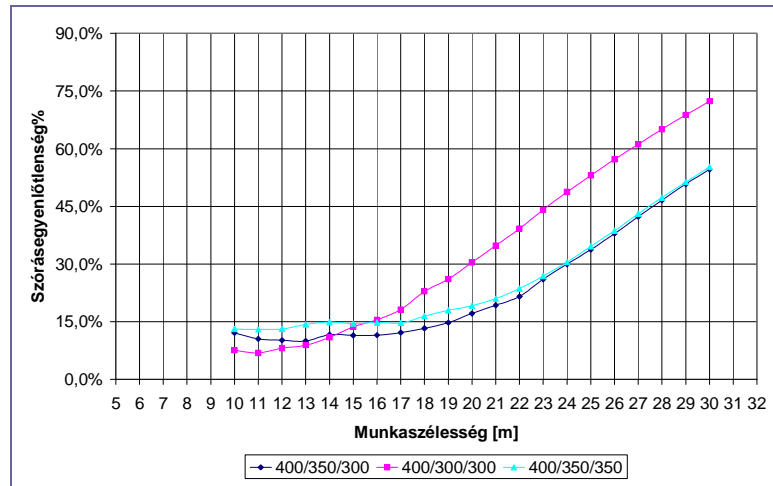
A következő, **46. ábra** azokat a szórásgörbéket mutatja, amelyeket akkor kaptunk, amikor a leghosszabb lapát 350 mm-es volt, és a másik két lapát hossza azonos, illetve eltérő.

Fenti szórásgörbéket azonos beállítás mellett, háromszori ismétléssel kapott eredmények átlagolásával kaptam. Megállapítható, hogy mind a munkaszélesség, mind a szórás egyenlőtlenség szempontjából kedvezőbb, ha a lapátok hossza eltérő.



**46. ábra. Szórásgörbék azonos és eltérő hosszúságú lapátokkal**

Az egyik lapát hosszát tovább növelve, három különböző lapáthossz variációval történtek mérések, melyek szórásgörbéit az **47. ábra** tartalmazza.



47. ábra Szórásgörbék megnövelt lapáthosszaknál

Fenti diagram szerint legkedvezőbb a 400/350/300 mm-es lapátkombináció, mellyel természetesen optimális adagolási helyen (pl. B4 adagolási helyen 26 méter) nagyobb munkaszélesség is elérhető volt.

#### 4.5. A lapátok számának hatása a szórás- és munkaszélességre, valamint a szórás egyenlőtleniségre

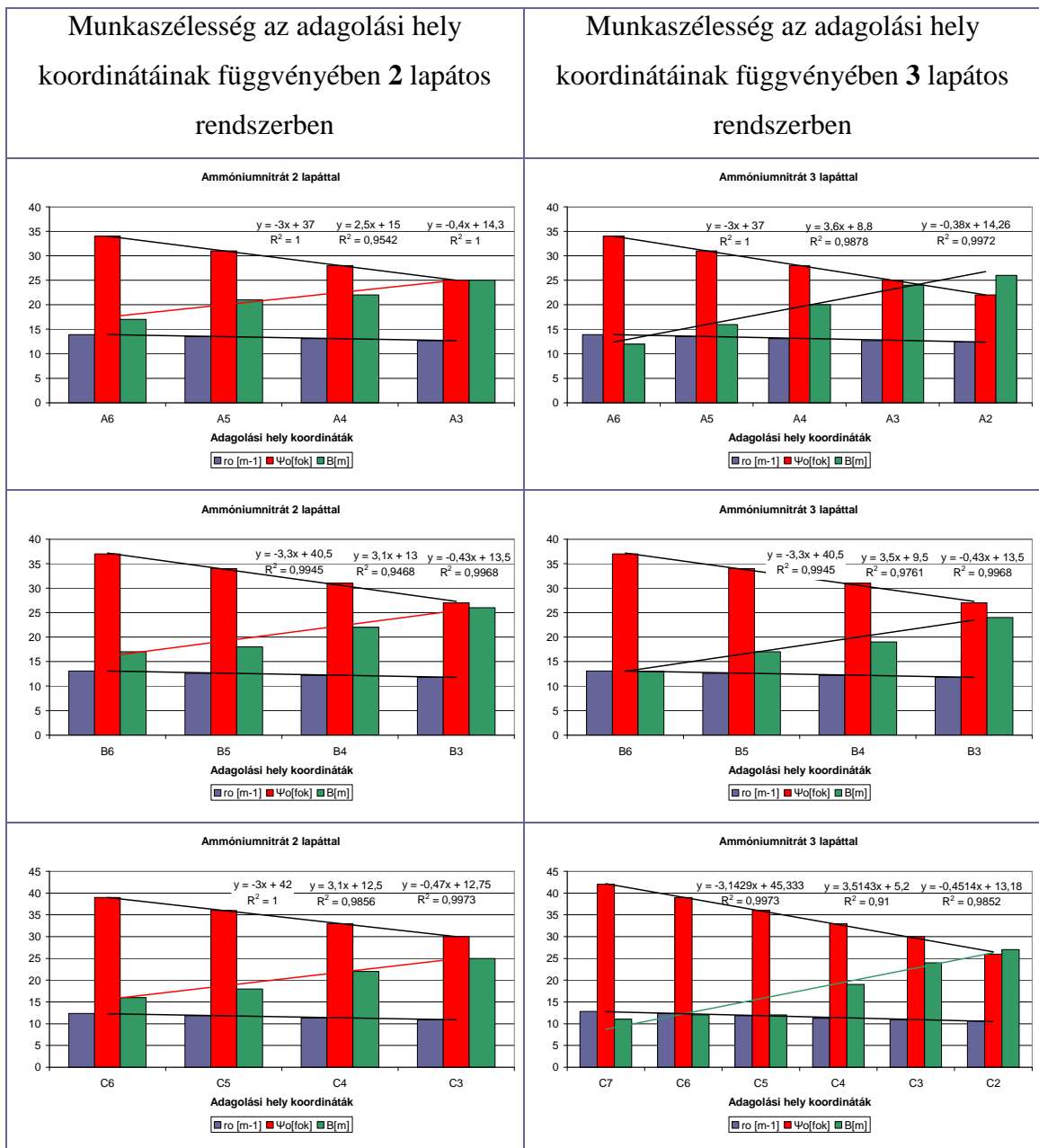
A méréseket a következő feltételekkel végeztem:

A műtrágya típusa:	Ammóniumnitrát
Szórólapátok száma:	2 vagy 3
Szórólapátok hossza:	400/300 mm vagy 400/350/300 mm
A műtrágya tömegárama:	állandó (47,40 kg/min, 3-as adagoló állás)
Lapáthelyzet:	állandó (mindegyik lapát leghátsó helyzetben)
Adagolási hely	a 48. ábra szerint

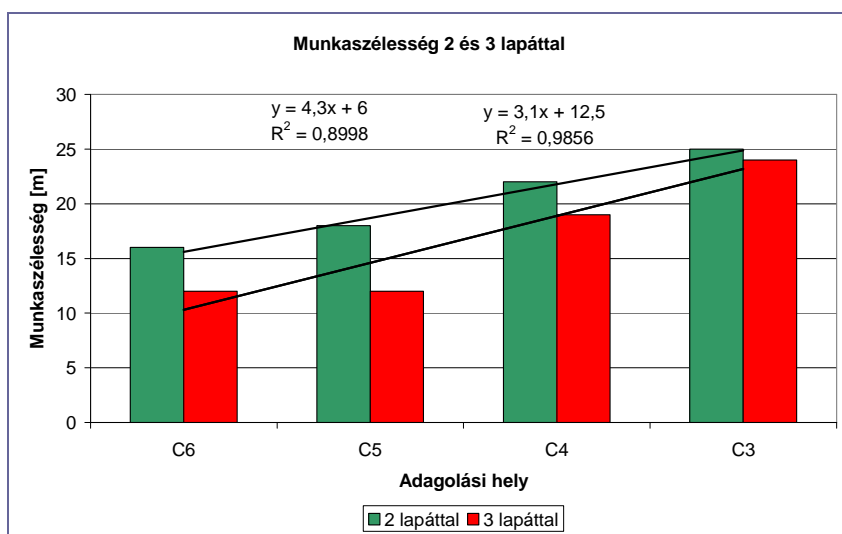
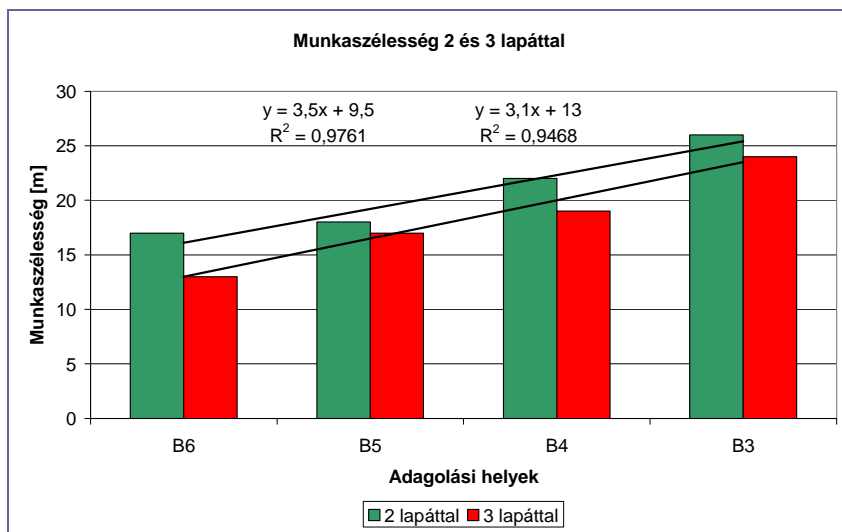
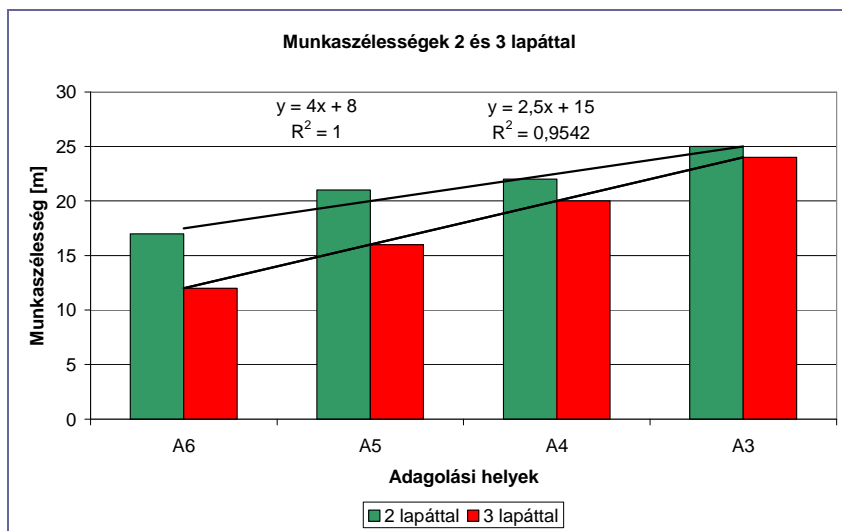
J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	
										9
										8
										7
							X	X	X	6
							X	X	X	5
							X	X	X	4
							X	X	X	3
										2
										1
										0

48. ábra. A lapátszám hatásának vizsgálatokor alkalmazott adagolási helyek

A következő, **49. ábrán** látható az adagolási hely koordinátáinak ( $r_o$ ;  $\psi_o$ ) függvényében a munkaszélesség alakulása, 2 és 3 lapátos rendszerben. A diagramokon jól megfigyelhető, hogy a koordináta értékek lineáris csökkenésével a munkaszélesség lineárisan nő függetlenül a lapátszámtól. Ugyanakkor az is szembetűnő, hogy azonos adagolási helyeken 2 lapátos rendszerben mindig nagyobb munkaszélesség érhető el. Ezt szemlélteti a **50. ábra**.

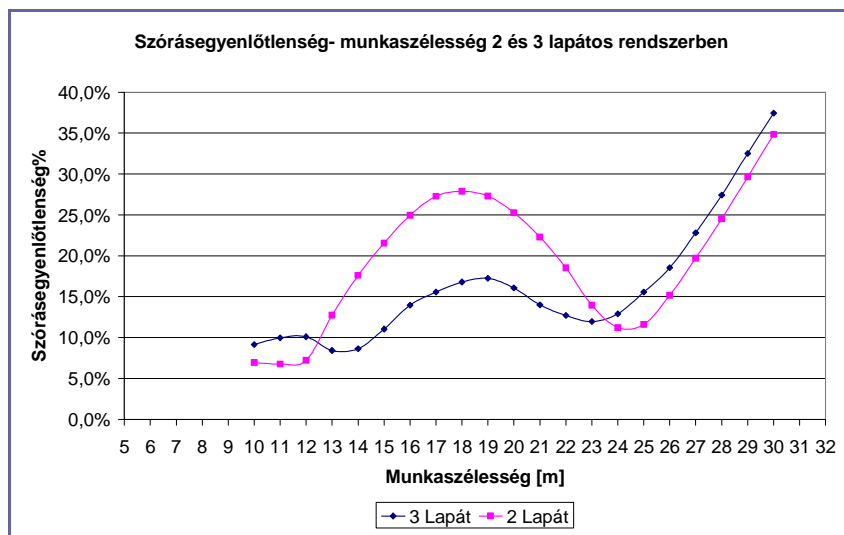


**49. ábra.** Munkaszélesség az adagolási hely koordinátáinak függvényében 2 és 3 lapátos rendszerben



50. ábra. A munkaszélesség alakulása 2 és 3 lapátos rendszerben különböző adagolási helyeken

A szórás egyenlőtlenség alakulását 2 és 3 lapátos szórótárcsák alkalmazásával három, egymáshoz közel eső adagolási helyen (A3, B3, C3) mért érték átlagolásával vizsgáltam. Az **51. ábra** egyértelműen mutatja, hogy a 2 lapátos rendszerrel nagyobb munkaszélesség (24, 25, 26 m) érhető el, kisebb szórás egyenlőtlenség mellett.



**51. ábra.** A szórás egyenlőtlenség alakulása különböző munkaszélességeknél 2 és 3 lapátos rendszerben

#### **4.6. A nagy munkaszélesség szempontjából optimális műtrágya jellemzők meghatározása**

A szakirodalom közel húsz különböző fizikai tulajdonságot említ a szilárd műtrágyák vonatkozásban. Mindegyik tulajdonság egy vagy több folyamatot érint. A folyamatok közé tartozik a gyártás, tárolás, szállítás, keverés, szemcsemozgás a röpitőtárcsán és a levegőben valamint a növényzet reakciója.

A különböző jellemzők hatásának vizsgálata nem egyszerű, mivel az összes fizikai jellemző egyidejűleg van jelen a folyamatokban, azokat szétválasztani nem lehetséges.

A műtrágyaszóró gépek munkaszélességének növelése szempontjából mégis, döntően három tényezőnek van kiemelt szerepe:

- a közepes szemcseméret
- a szemcseméret megoszlás, és
- a térfogattömeg.

Az „Anyag és módszer” című fejezetben ismertettem az általam vizsgált műtrágyák fentiekre vonatkozó mérési eredményeit.

A következő méréssorozatot két, a mezőgazdasági gyakorlatban nagy mennyiségben alkalmazott, ugyanakkor a vizsgált fizikai jellemzők tekintetében jelentős mértékben eltérő műtrágyával végeztem, a következő feltételek mellett:

A műtrágya típusa: NPK és ammóniumnitrát  
 Szórólapátok száma: 2  
 Szórólapátok hossza: 400/300 mm  
 A műtrágya tömegárama: állandó (47,40 kg/min, 3-as adagoló állás)  
 Lapáthelyzet: állandó (mindegyik lapát leghátsó helyzetben)  
 Adagolási hely: az **52. ábra** szerint

<b>J</b>	<b>I</b>	<b>H</b>	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>E</b>	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	
										<b>9</b>
										<b>8</b>
										<b>7</b>
									<b>X</b>	<b>6</b>
						<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>5</b>
						<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>4</b>
										<b>3</b>
										<b>2</b>
										<b>1</b>
										<b>0</b>

**52. ábra.** NPK és ammóniumnitrát összehasonlításánál beállított adagolási helyek

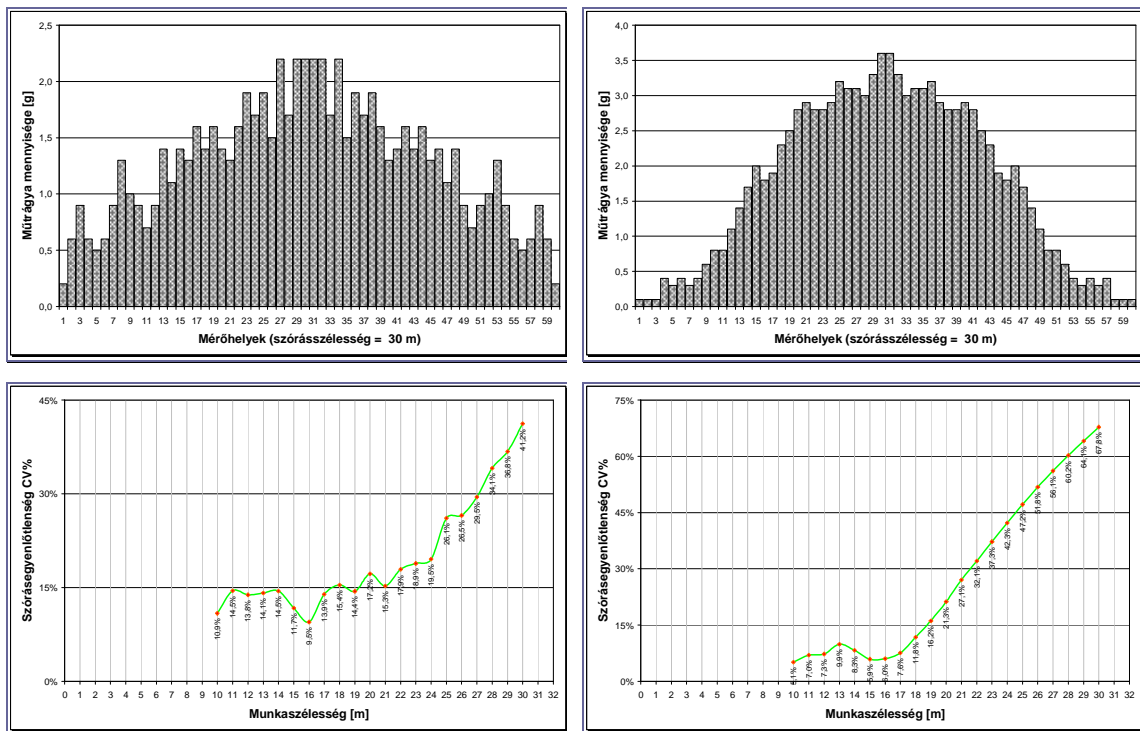
A következő, **9. táblázat** összefoglalja a két, vizsgált műtrágya legfontosabb fizikai jellemzőit.

**9. táblázat.** A vizsgált műtrágyák fizikai jellemzői

<b>Jellemző</b>	<b>NPK</b>	<b>Ammóniumnitrát</b>
$d_{<1}\%$	2,57	0,90
$d_{>4}\%$	2,46	2,27
$d_{50}[\text{mm}]$	3,14	2,38
VK%	21,00	32,60
Térfogattömeg [ $\text{kg}/\text{dm}^3$ ]	0,97	0,95

$d_{<1}\%$ : az 1 mm-nél kisebb szemcsék aránya,  
 $d_{>4}\%$ : a 4 mm-nél nagyobb szemcsék aránya,  
 $d_{50}[\text{mm}]$ : közepes szemcseméret,  
 VK%: a szemcseméret variációs tényezője.

A mérésoroztatban beállított adagolási helyeken kapott keresztirányú szórásrész diagramokat a szórásgörbékkel együtt a **3. sz. melléklet** tartalmazza. Ezek közül egyet itt is kiemelve (**53. ábra**), a következők állapíthatók meg:



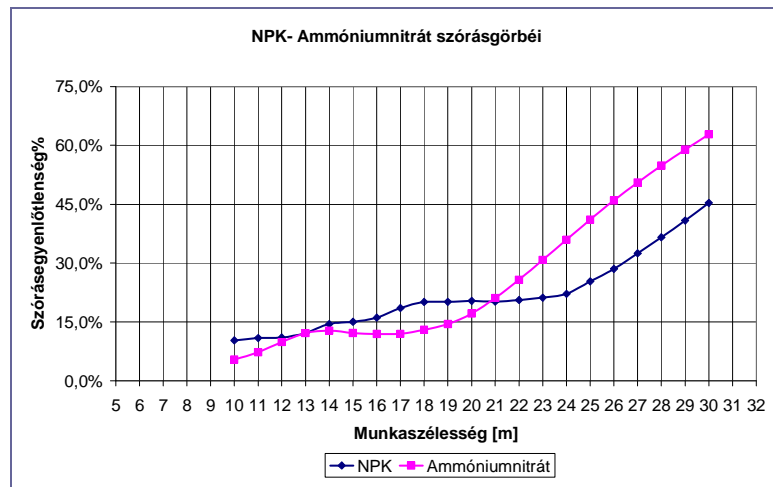
**53. ábra. NPK és ammóniumnitrát keresztirányú szórásrész és szórásgörbéje B5 adagolási helyen**

A fizika törvényszerűségei alapján várható, hogy a nagyobb szemcseméretű és nagyobb térfogattömegű műtrágya szórható nagyobb távolságra. Ez a fenti szórásrészeken (és a mellékletben bemutatott további szórásrészeken is) egyértelműen megfigyelhető. Ha mindkét szórásrész alakhoz hasonlítjuk, akkor látható, hogy az NPK -val kapott háromszög csúcshöge nagyobb. Ugyanakkor a háromszögek oldalainak lefutása NPK műtrágya esetében minden esetben nagyobb szabálytalanságokat mutat. Mindezek miatt az elérhető munkaszélesség mindössze 1 méterrel haladja meg az ammóniumnitráttal elérhető munkaszélességet.

A szórásgörbék alapján további megállapítások is tehetők:

Ammóniumnitrát műtrágyával 18 m munkaszélesség alatt jóval kisebb a szórás egyenlőtlenség, és nem igényel pontos fogáscsatlakoztatást, míg az NPK esetében sikerült ugyan nagyobb munkaszélességet elérni, de ebben az esetben igen pontos fogáscsatlakoztatásra van szükség.

A vizsgált adagolási helyeken műtrágyánként átlagolva a szórásgörbéket az **54. ábrán** látható szórásgörbéket kapjuk.



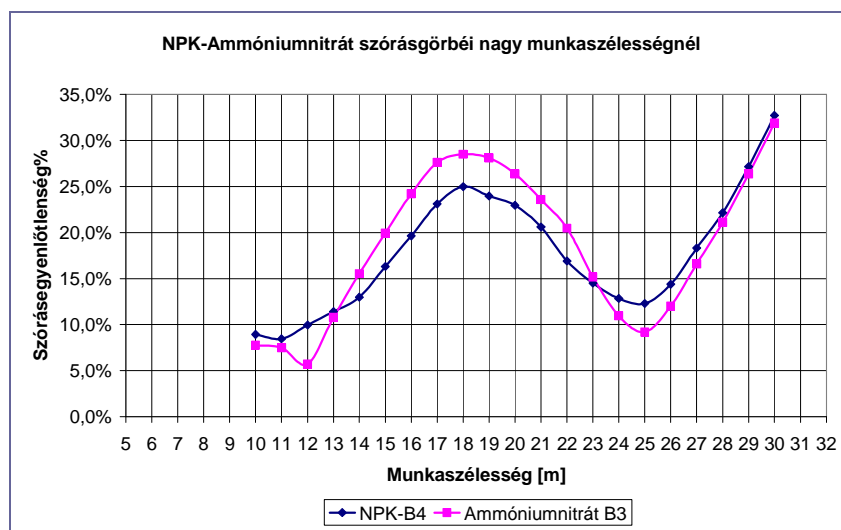
**54. ábra. NPK és ammóniumnitrát átlagolt szórásgörbéi**

A görbék szerint a vizsgált adagolási helyeken ammóniumnitrát műtrágyával nagyobb munkaszélesség érhető el kisebb szórás egyenlőtlenség mellett.

Mindkét műtrágya esetén található olyan adagolási hely, amely 26 méteres munkaszélesség alkalmazását teszi lehetővé. Ezek az adagolási helyek B4 (122 mm, 31°) és B3 (118 mm, 27°).

Mindkét műtrágya kijuttatható 24, 25, és 26 méteres munkaszélesség alkalmazásával, ugyanakkor ammóniumnitráttal, nagyobb szórás egyenlőtlenséggel (**55. ábra**).

A nagyobb közepes szemcseméret valamint a nagy térfogattömeg magyarázza az NPK-val elérhető nagyobb szórás egyenlőtlenséget, ugyanakkor a nagyobb szórás egyenlőtlenség magyarázata az 1 mm-nél kisebb és 4 mm-nél nagyobb méretű szemcsék nagyobb aránya az NPK műtrágyahalmazban. Mindezek alátámasztására egy olyan kísérlet szolgál, amelyet ugyanazzal a műtrágyával, de két különböző szemcseösszetétel mellett végeztem.



**55. ábra. NPK és ammóniumnitrát szórásgörbéi két szomszédos adagolási helyen**

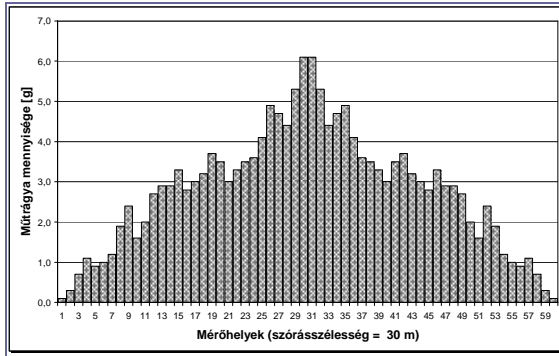
A mérés körülményei a következők voltak:

A műtrágya típusa: Kálisó  
 Szórólapátok száma: 3  
 Szórólapátok hossza: 400/350/300 mm  
 A műtrágya tömegárama: állandó (47,40 kg/min, 3-as adagoló állás)  
 Lapáthelyzet: állandó (mindegyik lapát leghátsó helyzetben)  
 Adagolási hely: azonos, D6

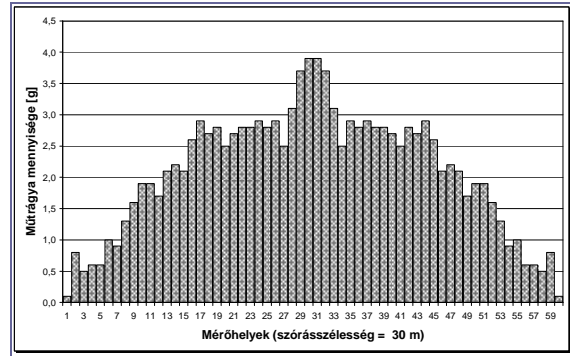
A méréshez ugyanazon termék egy hosszabb ideje tárolt (Kálisó 1) és újonnan vásárolt változatát (Kálisó 2) használtam, azonos feltételek mellett. A méréseket közvetlenül egymás után végeztem.

A kétféle kálisó közötti különbség a fizikai jellemzőkben is megjelent:

Jellemző	Kálisó 1	Kálisó 2
$d_{<1}\%$	10,68	0,93
$d_{>4}\%$	1,58	2,1
$d_{50}$ [mm]	2,54	2,98
VK%	39	21
Térfogattömeg [kg/dm <sup>3</sup> ]	1,11	1,13

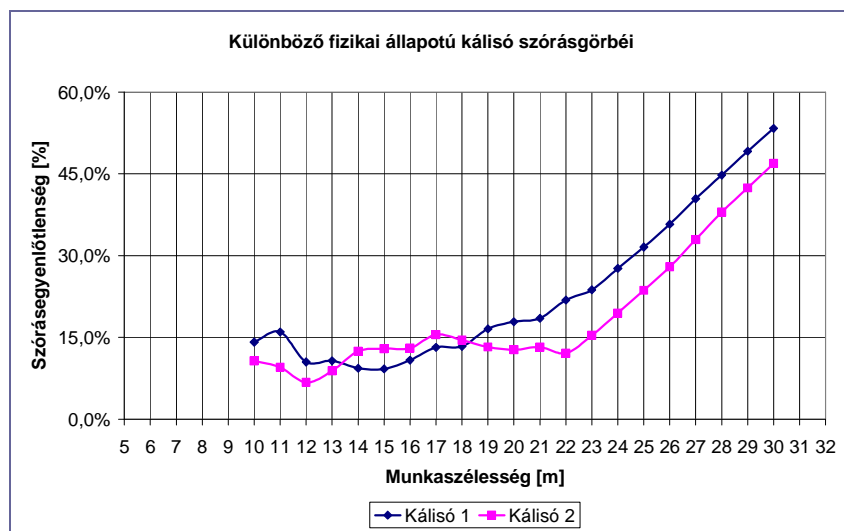


**56. ábra. Keresztirányú szóráskép Kálisó 1 műtrágyával**



**57. ábra. Keresztirányú szóráskép Kálisó 2 műtrágyával**

A két keresztirányú szórásképekből (56., 57. ábra) is jól látható, amit a szórásgörbék (58. ábra) is alátámasztanak, hogy a nagy arányban jelenlévő porszerű műtrágyaszemcsék miatt a Kálisó 1 műtrágyával jóval kisebb munkaszélesség érhető el mint a Kálisó 2-vel (18, illetve 22 méter).



**58. ábra. Kálisó szórásgörbéi**

#### **4.7. A szórólapátok anyagmegválasztásának szempontjai.**

##### **4.7.1. Munkaminőség romlás kopott felületű szórólapátok alkalmazása esetén**

A röpitőtárcsás gépekkel elérhető munkaminőség jelentősen romlik, ha a gép paraméterei a gyári állapottól eltérnek. Ez az eltérés lehet a gép deformációja, amely a gépek helytelen feltöltése miatt (durva rátolatás) következhet be, vagy a szórólapátok kopása és sérülése, amely a gép munkaminőségét jelentősen ronthatja. Ez utóbbival

célszerű részletesebben is foglalkozni, mert számos hiba forrása. Általános tapasztalat, hogy a szórólapátokat addig használják, amíg azok felülete hullámosra kopik, sőt átlukad (**59. ábra**).



**59. ábra. Különböző mértékben kopott szórólapátok**

Új és kopott lapátokkal végzett összehasonlító vizsgálatok igazolják, hogy a kopott lapátok jelentős munkaminőség romlást eredményeznek

Az összehasonlítás három, a szabványban is meghatározott munkaminőségi mutató alapján történt (**10. táblázat**).

**10. táblázat. Új és kopott lapátokkal végzett vizsgálat eredménye**

Minőségi mutató	Új lapátokkal	Kopott lapátokkal	Megengedett érték
Közepes eltérés %	7,7	18,19	10
Legnagyobb eltérés %	18,08	46,97	20
Variációs koefficiens %	9,43	22,23	15

Megállapítható tehát, hogy az extrém mértékű lapátkopás jelentős mértékben rontotta a keresztirányú szórásképet és ezzel a szórás minőségi paramétereit. A kopott lapátokkal a gép a szabványban előírt egyetlen jellemzőt sem tudta teljesíteni.

Amennyiben figyelembe vesszük, hogy a 20% feletti szórás egyenlőtlenség érték önmagában 1% körüli termés csökkenést eredményez, a kopott lapátok időbeni cseréjének szükségességét nem kell bizonyítani.

Napjainkban a műtrágyaszóró gép gyártók a szórólapátok anyagára is figyelmet fordítanak. Keresik azokat a lapátanyagokat, amelyek az adott igénybevétel mellett a leghosszabb ideig megőrzik eredeti állapotukat.

A kezelési és karbantartási útmutatóban felhívják a figyelmet a lapátcsere szükségességére, amikor a lapátok végein már hullámosodás tapasztalható (SULKY).

Előfordul, hogy a hosszabb élettartamú szórólapátokat opcióként ajánlják, természetesen, az eredetnél magasabb áron (BOGBALLE).

#### **4.7.2. Különböző anyagú lapátok koptatóvizsgálatának eredménye**

A négy, különböző anyagú lapát koptatását az „Anyag és módszer” című fejezetben ismertetett berendezéssel, és koptató anyaggal végeztem. Ugyanitt megtalálható a vizsgált lapátanyagok leírása, és legfontosabb jellemzőik ismertetése.

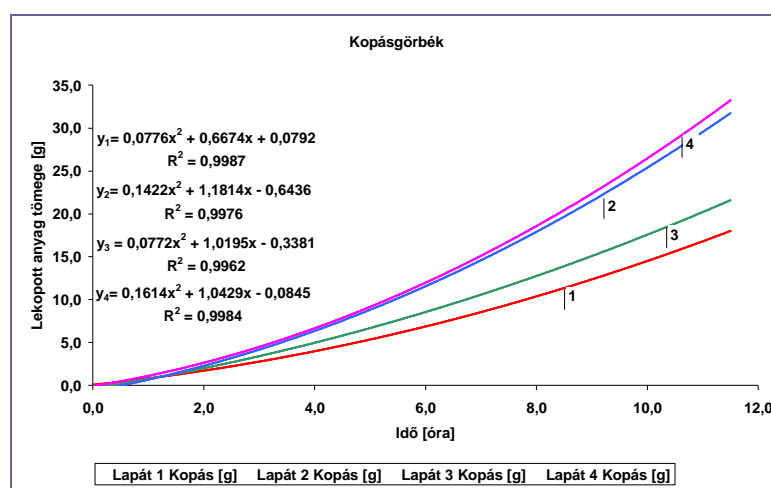
A vizsgálat kb. két napot vett igénybe, ebből a ténylegesen koptatással telt idő 11.5 óra volt. Kezdetben 0.5, majd 1.0 illetve 2.0 óránként leszereltük a szórólapátokat a tárcsáról és 0.1g pontosságú mérleggel megmértük a tömegüket. A mért adatokat a **11. táblázat** tartalmazza. A koptatási folyamat utolsó órájában a lapátok közül kettőn (Lapát 2 és 4) anyag folytonossági hiba jelentkezett, míg a másik két lapát végén is jelentős elvékonyodás volt tapasztalható.

Megállapítható, hogy az anyaghány és a jelentős elvékonyodás a lapátok azon részén jelentkezett először, ahol a lapát menti sebesség elérte maximumát. Ez minden esetben a lapátok végének a tárcsa felületéhez legközelebb eső része (**61., 62., 63. és 64. ábrák**).

A táblázatban feltüntetett értékek felhasználásával készült diagram (**60. ábra**) az idő függvényében mutatja a lapátok kopásának mértékét.

11. táblázat. A szórólapátok tömegének változása a koptatás során

Idő [óra]	Lapát							
	1		2		3		4	
	Tömeg [g]	Kopás [g]	Tömeg [g]	Kopás [g]	Tömeg [g]	Kopás [g]	Tömeg [g]	Kopás [g]
0,0	380,4	0,0	385,3	0,0	375,9	0,0	587,8	0,0
0,5	379,7	0,7	385,1	0,2	375,4	0,5	586,9	0,9
1,0	379,5	0,9	384,6	0,7	375,1	0,8	586,5	1,3
1,5	379,1	1,3	384,1	1,2	374,6	1,3	586,0	1,8
2,5	378,4	2,0	382,9	2,4	373,7	2,2	584,8	3,0
3,5	377,2	3,2	380,9	4,4	372,5	3,4	582,8	5,0
4,5	375,9	4,5	377,7	7,6	370,2	5,7	580,3	7,5
5,5	374,5	5,9	374,9	10,4	368,4	7,5	577,3	10,5
7,5	370,5	9,9	368,2	17,1	363,4	12,5	570	17,8
8,5	368,8	11,6	365,1	20,2	361,4	14,5	566,9	20,9
10,5	364,9	15,5	358,4	26,9	357,2	18,7	559,6	28,2
11,5	362,5	17,9	353,7	31,6	354,7	21,2	554,7	33,1



60. ábra. A koptató vizsgálat eredményeként kapott kopásgörbék

A koptató vizsgálat eredményei alapján a következő megállapítások tehetők:

- Valamennyi anyag kopásának mértéke az idő másodfokú függvénye.
- Az adott igénybevételnek, a várakozásoknak megfelelően a legnagyobb keménységű, különleges acélból készült lapát (Lapát 1) felelt meg leginkább.
- A korrózióálló acélból készült lapátok (Lapát 2 és 4) koptak leggyorsabban, közel azonos mértékben, függetlenül attól, hogy 2 vagy 3 mm vastagságú lemezből készültek.
- A legkisebb keménységű, hidegen hengerelt táblalemezből készült lapát (Lapát 3) kopása jóval kisebb intenzitású, mint a korrózióálló acélból készült lapátoké.



**61. ábra. Lapát 1**



**62. ábra. Lapát 2**



**63. ábra. Lapát 3**



**64. ábra. Lapát 4**

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

### *Összefüggés az adagolási hely koordinátái és a munkaszélesség között*

Az irodalom elemzése, elméleti megfontolások és a mérési eredmények alapján a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek szóró szerkezetének továbbfejlesztéséhez az alábbi következtetéseket és javaslatokat fogalmaztam meg:

Az adagolási hely állító szerkezetnek lehetővé kell tennie az adagolási hely igen nagy pontosságú állítását. A mátrix rendszerű adagoló szerkezet, a gépcsoport hossz tengelyének irányában, lehetőséget biztosít az adagolási hely koordinátáinak ( $\psi_0$  és  $r_0$ ) lineáris állításra. Ennek segítségével megoldható a munkaszélesség lineáris változtatása. A nagy pontosságú állítás alatt hosszirányban 5 mm alatti, szögértékben pedig  $3^\circ$  alatti pontosság értendő. Az adagolási hely haladási iránnyal ellentétes irányú állítása a munkaszélesség növekedését eredményezi.

A hossz tengelyre merőleges irányú állítás nem befolyásolja számottevően a munkaszélesség alakulását.

Amennyiben az adagolási helyeknek kizárólag a tárcsaközépponttól való távolságát ( $r_0$ ) változtatjuk, nem mutatható ki szoros összefüggés a sugár ( $r_0$ ) és a munkaszélesség között.

### *A lapátszög változtatás hatása a munkaszélességre és szórás egyenlőtlenségre*

Az adagolási hely állításával csak bizonyos pontig érhető el a munkaszélesség növelése. Ezután, bár a szórás szélesség tovább nő, a szórás kép közepére nem jut megfelelő mennyiségű műtrágya, így a szórás egyenlőtlenség a megengedett érték fölé nő. Ilyenkor a lapátok beállítási szögének változtatásával érhető el, hogy a szórás kép közepére több műtrágya kerüljön, így a szórás egyenletesség javuljon. A műtrágyaszemcsék mozgásának egyenletekkel való leírása során figyelembe vesszük a lapátszöget, ugyanakkor nem vesszük figyelembe, hogy a tárcsákon egyidejűleg kettő, vagy több lapát lehet. A mérési eredmények alapján a lapátok szögének egyidejű állítása nem javítja a szórás munkaminőségét, ugyanakkor kétlapátos rendszerben a hosszabbik lapát beállítási szögének  $5^\circ$ -kal történő állításával a munkaszélesség 12 méterről 28 méterre

nőtt. A további állítás a szórászélességet növeli ugyan, de a szórás egyenlőtlenségét is, így ez a beállítás már nem alkalmazható.

#### *A lapátok számának hatása a szórás-és munkaszélességre, illetve a szórás egyenlőtlenségre*

Az adagolási hely koordinátáinak hossz és szögértékeivel fordítottan arányos a munkaszélesség változása mind két, mind háromlapátos rendszerben. A mérési eredmények szerint azonban minden egyes adagolási helyen nagyobb munkaszélesség érhető el a kétlapátos szóró szerkezettel. Ammóniumnitrát műtrágyával végzett kísérletsorozat alapján a munkaszélesség növekedés, adagolási helytől függően 1-6 méter között van, a vizsgált 12 különböző adagolási hely tekintetében átlagosan 3 méter.

#### *A szórólapátok hosszának megválasztási szempontjai*

Öt, különböző lapáthossz variációval, háromszori ismétléssel végzett mérési sorozat eredményei alapján megállapítható, hogy háromlapátos rendszerben, legkedvezőbb eredményt akkor kapunk, ha mindhárom lapát hossza különböző. Öt méterrel nőtt a munkaszélesség, amikor egy lapát hosszát változatlanul hagyva, a másik két lapát hosszát lecsökkentettük. További két méter munkaszélesség növekedést eredményezett az egyik lapát hosszának 50 mm-rel való megnövelése. További lapáthossz növelés szerkezeti okokból nem volt lehetséges.

#### *Műtrágyajellemzők*

A méréssorozatot két, megközelítőleg azonos térfogattömegű, ugyanakkor szemcseméretében és szemcseméret megoszlásában határozottan eltérő műtrágyával elvégezve, a következő következtetések vonhatók le:

A nagyobb közepes szemcseméret, bár nagyobb szórászélességet eredményez, nem jelent feltétlenül ugyanolyan mértékű munkaszélesség-növekedést.

A nagyobb szemcseméret variációs tényező következtében a szórás kép alakja szabályosabb, ami nagyobb biztonsággal való szórhatóságot jelent. A nagy arányban

jelenlévő porszerű (1 mm-nél kisebb) műtrágya szemcsék jelentősen, kálisóval végzett mérések alapján, akár 4 méterrel is lecsökkenthetik a munkaszélességet.

NPK -val és ammóniumnitráttal, nyolc különböző adagolási helyen, háromszori ismétléssel végzett mérésorozat eredménye alapján megállapítható, hogy a kisebb közepes szemcseméretű ammóniumnitráttal, nagyobb biztonsággal, és kisebb szórás egyenlőtlenséggel érhető el nagy munkaszélesség. Ennek oka a jóval kevesebb 1 mm-nél kisebb szemcse, valamint a nagyobb szemcseméret inhomogenitás. Ugyancsak lényeges befolyásoló tényező, hogy az ammóniumnitrát műtrágyában kisebb volt a 4 mm-nél nagyobb szemcsék aránya.

Fenti összehasonlítás semmilyen fajta minősítést nem jelent az adott műtrágyákra vonatkozóan, sokkal inkább a fizikai jellemzők jelentőségére hívja fel a figyelmet. Ma már a gyári állapotú műtrágyák nem tartalmaznak számottevő mennyiségben 1 mm-nél kisebb szemcséket, ugyanakkor ezek arány a hosszú tárolás, durva bánásmód eredményeként nőhet.

#### *A szórólapátok anyagmegválasztása*

A kopott felületű szórólapátokkal csökken a munkaszélesség, romlik a szórás egyenletesség. A kopott, hullámos felületű lapátokat ki kell cserélni újakra. Hogy mekkora műtrágyamennyiség kiszórása után kerül erre sor, nagymértékben függ a szórólapátok anyagától. Négy, különböző lapátanyag koptatóvizsgálata egyrészt azt mutatja, hogy a kopás az idő másodfokú függvénye. Lényeges különbség van azonban a kopás mértéke között. A vizsgálat eredménye alapján, a korrózióálló acélból készült szórólapátok, amelyeket a gyártók előszeretettel alkalmaznak, jóval gyorsabban kopnak, mint a kisebb keménységű, ráadásul olcsóbb fekete acél. Mellettük szól azonban, hogy valós körülmények között, a műtrágyával való érintkezés hatására nem korrodálnak.

A vizsgálat alapján nem mondható meg egyértelműen, hogy mely anyagok felelnek meg leginkább a valós körülmények között, ugyanakkor nyilvánvalóvá vált, hogy az adott igénybevétel mellett lényeges különbségek lehetnek az anyagok között, és nem biztos, hogy a nagyobb keménység lassabb kopást jelent.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A műtrágyaszóró gépek műszaki színvonalával szemben támasztott követelmények folyamatos szigorítása megköveteli a folyamatos fejlesztést és a szabályozhatóság pontosságának növelését. Ezáltal nő a műtrágyák felhasználásának hatékonysága és a termés hozam, javul a termények minősége, csökken a környezetterhelés.

Ma a szilárd műtrágyák jelentős részét világviszonylatban röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépekkel jutadják ki, hazánkban is ennek használata általános.

A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek területteljesítménye alapvetően két tényezőtől függ: haladási sebességüktől és munkaszélességüktől.

A haladási sebesség növelésének vannak konstrukciós, üzemeltetési és energetikai korlátai. A munkaszélesség növelésével csökken a talajtaposás és az üzemeltetési költség, ugyanakkor csökken az egységnyi területre eső csatlakoztatási felület, ezáltal pedig a szórás egyenlőtlenség.

Az egyenetlen műtrágya-kijuttatás következtében romlik a termények minősége, csökken a hozam, nő a betakarítási veszteség, csökken a gépi munkák hatékonysága.

Mindezek alapján célul tűztem ki a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek szóró szerkezetének fenti szempontok alapján legfontosabbnak ítélt paramétereinek közötti összefüggések feltárását. Rendszereztem a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek munkaszélességét befolyásoló legfontosabb tényezőket, elemeztem a szórás elméletét. Elméleti úton és több mint háromszáz mérés eredményének felhasználásával összefüggéseket kerestem és találtam a szóró szerkezet legfontosabbnak ítélt paramétereinek és a munkaszélesség között, figyelembe véve a szórás egyenlőtlenségére vonatkozó követelményeket.

A méréseket a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Kar Géptani Tanszékének vizsgálóbázisán végeztem, a TORNÁDÓ INTERNATIONAL Kft. által biztosított kísérleti géppel és szórólapátokkal. A vizsgálóbázison lévő mérőpálya szabadban végezhető mérésekre nyújt lehetőséget. Konstrukciós jellegű vizsgálatoknál legcélszerűbb a laboratóriumi körülmények biztosítása, vagy annak megközelítése. Ennek megfelelően a környezeti tényezők (talajegyenlőtlenség, szél, páratartalom) hatását igyekeztem kizárni, vagy mérsékelni.

A vizsgálatokat nem lett volna célszerű egyetlen műtrágya típusra korlátozni, hiszen a gyakorlatban valamennyi műtrágya azonos fontossággal bír, és ezek bizonyos fizikai tulajdonságai esetenként lényegesen befolyásolják a vizsgálati eredményeket.

Elméleti összefüggést vezettem le a műtrágyaszemcse lapát menti sebességének, ez alapján pedig repülési távolságának meghatározására.

Vizsgáltam a műtrágya szórótárcsára való adagolási helye és a munkaszélesség közötti kapcsolatot.

A lapátok elhelyezési szögének hatását kétlapátos szóró szerkezettel, a lapátok szögének kilenc, különböző beállításában vizsgáltam.

12 különböző adagolási helyen két és háromlapátos szóró szerkezettel végeztem méréseket annak megállapítására, hogy adott adagmennyiségnél két vagy háromlapátos szóró szerkezettel érhető-e el nagyobb munkaszélesség.

A lapátok hosszának munkaszélességre gyakorolt hatását öt különböző lapáthossz kombinációval mértem.

A műtrágyák fizikai jellemzőinek hatását két, különböző műtrágyával, nyolc eltérő adagolási helyen mértem, de a következtetések levonásánál más műtrágyákkal végzett mérések eredményeit is figyelembe vettem.

Az útmutatásaimnak megfelelően elkészített koptató-berendezéssel lehetőség van egyidejűleg négy, különböző lapátanyag koptató vizsgálatára, garantáltan azonos feltételek mellett. A vizsgálatba bevont anyagok kiválasztása a gyártó cég igényeinek megfelelően történt, de természetesen lehetőség van további anyagok koptató vizsgálatára is.

A kapott eredmények felhasználhatók a röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek szóró szerkezetének tervezéséhez, illetve elkészítéséhez.

## 7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- Szoros, lineáris összefüggést találtam az adagolási hely koordinátái ( $r_0$ ;  $\psi_0$ ) és a munkaszélesség között. Bizonyítottam, hogy a tárcsaközépponttól való távolság és a tárcsaközéppontokat összekötő egyenestől mért szög csökkenésével a munkaszélesség nő.
- Kísérleti úton bizonyítottam, hogy az adagolási hely állításán túl, a szórólapátok szögének változtatásával növelhető a munkaszélesség. Különböző hosszúságú lapátok esetén elegendő, ha a hosszabbik lapát szöge állítható.
- Két és háromlapátos szóró szerkezetnél is meghatároztam az adagolási hely koordinátái ( $r_0$ ;  $\psi_0$ ) és a munkaszélesség közötti összefüggést, mellyel bizonyítottam hogy a kétlapátos rendszerrel nagyobb munkaszélesség érhető el, mint háromlapátossal.
- Konkrét mérésorozattal bizonyítottam, hogy mind a munkaszélesség, mind a szórás egyenlőtlenség szempontjából kedvezőbb, ha a lapátok hossza különböző. Javaslatot tettem konkrét lapáthosszakra, melyekkel optimális esetben a 30 méteres munkaszélesség is elérhető.
- Megközelítőleg azonos térfogattömegű műtrágyákkal bizonyítottam a szemcseméret és szemcseméret megoszlás munkaszélességet befolyásoló hatását.
- Bizonyítottam a szórólapátok felületi állapotának hatását a munkaszélességre és szórás egyenlőtlenségre.
- A röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépek lapátjainak kopásvizsgálata során szoros, másodfokú összefüggést találtam a lekopott anyag tömege és az idő között.
- A koptatóvizsgálat eredményeként megállapítottam, hogy a bekövetkezett anyaghiány és jelentős elvékonyodás a lapátok azon részén jelentkezett először, ahol a lapát menti sebesség elérte maximumát. Ez minden esetben a lapátok végének a tárcsa felületéhez legközelebb eső része volt.

## **8. A GYAKORLATBAN FELHASZNÁLHATÓ EREDMÉNYEK**

Vizsgálati eredményeim alapján javaslom, hogy a röpitőtárcsás műtrágyaszóró gépeken legyen lehetőség az adagolási hely pontos állítására. Javaslom, hogy hosszirányban, 5 mm, vagy annál kisebb fokozatokban lehessen állítani az adagolási helyet. Ennek eredményeként lineárisan változtatható a munkaszélesség.

Elengedhetetlennek tartom, hogy a gépgyártók beállító táblázatot mellékeljenek a gépekhez, amelyben egyértelműen meg van adva az egyes műtrágyatípusokhoz tartozó adagolási hely, munkaszélességenként.

Fontosnak tartom, hogy az adagolási hely állító szerkezet könnyen hozzáférhető helyen legyen, és működtetése könnyen kivitelezhető legyen.

A szórólapátok száma tárcsánkként 2 vagy 3 legyen. Az alapműtrágyázást kivéve, a 2 lapátos megoldást javaslom, ezzel minden esetben nagyobb munkaszélesség érhető el, kisebb szórás egyenlőtlenség mellett.

Fontos, hogy lehessen változtatni a lapátok sugáriránnyal bezárt szögét, de mérési eredményeim alapján a szórás kép előnyösebben változtatható a hosszabbik lapát szögének módosításával.

A szórólapátok hossza ne legyen azonos. Rövidebb lapátokkal is nagyobb munkaszélesség érhető el, ha a lapátok hossza eltérő. A javasolt lapáthosszak: 400, 350 és 300 mm.

A műtrágyaszóró gép gyártóknak figyelembe kell vennie, hogy a műtrágyát esetenként hosszabb tárolás után juttatják ki. A hosszú tárolási idő, valamint a durva bánásmód a szemcsék aprózódását okozhatja. Ugyanazon műtrágya poros változatával, azonos beállítás esetén kisebb munkaszélesség érhető el, amit ha nem vesznek figyelembe, a durva fogáscsatlakoztatási hiba miatt jelentősen megnő a szórás egyenlőtlenség. Erre a kezelési útmutatóban mindenképpen fel kell hívni az alkalmazók figyelmét.

A szabályos szórás kép nagyobb biztonsággal való szórhatóságot jelent. Minél heterogénebb egy műtrágya szemcsemérete, annál szabályosabb a szórás képe.

## 9. IRODALOMJEGYZÉK

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, E. 2002. Műtrágyaszóró gép munkaminőségi vizsgálata. EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság. Tudományos Konferencia. Debrecen. 350-354.
3. ANCZA, 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.
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. BÁNHÁZI, J. – KOLTAY, J. – SOÓS, P. 1984. A szántóföldi munkagépek működésének elméleti alapjai. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
6. BÁNYAI, ZS. 1971. Műtrágyák zsákban vagy ömlesztve? Mezőgazdasági Technika. 11 évf. 1. sz. 10-12. p.
7. BÉSÁN, J.-NÉ – MENYHÁRT, M. – SZÁNTÓ, A. 1982. Műtrágyák fizikai tulajdonságai. NEVIKI.
8. 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.

9. 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.
10. BUCZOLICS, Ö.–KIRÁLY, L. 1970. A röpítőtárcsás műtrágyaszórók paramétereinek és szóráségyenletességének vizsgálata. Járművek, Mezőgazdasági Gépek. 17. évf. 9. sz. 352-358. p.
11. BURCKHARDT, E. 1980. Rationalisierung der Arbeitsprozesse in den Agrochemischen Zentren. Agrartechnik. 30. évf. 7. sz. 298-299. p.
12. 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.
13. CSERNIKOV, B. P. 1978. Vlijanije sirinü rezbraszüvanija na kacsesztvo vneszenija udobrenij. Mechanizacija i Élektifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztva. Moszkva. 7. sz. 55. p.
14. CSIZMAZIA, Z. 1968. Röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek szóráségyenletességének vizsgálata. Doktori értekezés. Agrártudományi Egyetem Mezőgazdasági Gépészmérnöki Kar Gödöllő. Mezőgazdasági Gépek Tanszék.
15. CSIZMAZIA, Z. 1980. Műtrágyaszóró gépek, a csatlakoztatás hibáinak csökkentése. Mezőgazdasági Technika. Budapest. 20. évf. 6. sz. 10-11. p.
16. CSIZMAZIA, Z. 1982. A röpítőtárcsa fordulatszám-változásának következményei. Tudomány és Mezőgazdaság. 20. évf. 4. sz. 29-33. p.

17. CSIZMAZIA, Z. 1983. Röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek munkaszélességét és szórás egyenletességét befolyásoló legfontosabb tényezők vizsgálata. Kandidátusi értekezés tézisei. Debrecen.
18. CSIZMAZIA, Z. 1986/a. Röpítőtárcsás műtrágyaszóró szerkezet fejlesztése. A mezőgazdaság műszaki fejlesztésének tudományos kérdései sorozat. 66. füzet. Akadémiai Kiadó. Budapest. 82. p.
19. CSIZMAZIA, Z. 1986/b. Fejlesztett adagolószerkezettel megoldható a műtrágyák egyenletes kijuttatása. Mezőgazdasági Technika. Budapest. 26. évf. 12. sz. 0-1. p.
20. CSIZMAZIA, Z. 1989. Vizsgálópálya műtrágyaszóró gépekhez. Járművek, Mezőgazdasági Gépek. Budapest. 36. évf. 3. sz. 93-96. p.
21. CSIZMAZIA, Z. – DEMES, GY. 1990. TORNÁDÓ-1300 új hazai műtrágyaszóró. Mezőgazdasági Technika. Budapest. 31. évf. 6. sz. 6-7. p.
22. CSIZMAZIA, Z. 1990. The development of fertilizer spinner for low rate fertilizing. Hungarian Agricultural Engineering. Gödöllő. 3. sz. 22-23. p.
23. CSIZMAZIA, Z. 1993. Vizsgálóbázis fejlesztése műtrágyaszóró gépekhez. Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek. 40. évf. 3. sz. 109-112. p.
24. CSIZMAZIA, Z. – POLYÁK, N. I. 1997/a. Designing and Control Questions of Rotary Disc Fertilizer Sreader Machines. Hungarian Agricultural Engineering. No 10. 22-24. p.
25. CSIZMAZIA, Z.-POLYÁK, N. I. 1997/b. Röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek néhány tervezési és szabályozásai kérdése. Mezőgazdasági Technika. 1997. 38. évf. 5. sz. 2-4. p.

26. CSIZMAZIA, Z. – LAJOS, T. – MARSCHALL, J. – NAGYNÉ, P. I. 2000. Új rendszerű légcsonna fejlesztése. Mezőgazdasági Technika. 41. évf. 9. sz. 2-5. p.
27. CSIZMAZIA, Z. – KŐKUTI, A. 2001. KUHN-RAUCH MDS 921 műtrágyaszóró. Gyakorlati Agroforum. 12. évf. 8. sz. 70-73. p.
28. CSIZMAZIA, Z. – NAGYNÉ, P. I. 2001. Movement of Particles in the Air. Journal of Agricultural Sciences 1. Acta Agraria Debreceniensis. 22-26. p.
29. 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.
30. CSIZMAZIA, Z. 2003. Növényvédő gépek üzemeltetése. Agroforum. 14. évf. 5. sz. 48-52. p.
31. CSIZMAZIA, Z. 2004. A műtrágyaszóró gépek fejlődéstörténete. Gyakorlati Agroforum. 15. évf. 12. 43-46.
32. CSUNARE, N. V. 1969. Ugol usztanovki i forma lopasztej centrebezsno go razbraszüvatelja udobrenij. Mechanizacija i Élektrifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajstva. Moszkva. 27. évf. 7. sz. 36-37. p.
33. 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.
34. 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.

35. DEMES GY. 1977/b. Nagy szórászélességű műtrágyaszóró tárcsák. Akadémiai Kiadó. Budapest. 44. p.
36. DERGACS, G. I. – PUSKAR', SZ. P. 1971. Iszszledovanie proceszsa raszpredelenija defekata centrobezsniimi apparatami. Trakt. Szel'hozmas. Moszkva. 41. köt. 11. sz. 33-34. p.
37. DOBLER, K. – FLATOW, J. 1968. Berechnung der Wurfvorgänge beim Schleuderdüngerstreuer. Grundlagen der Landtechnik. 18. évf. 4. sz. 129-134. p.
38. 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.
39. 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.
40. DOGANOVSKIJ, M. G. – KOZLOVSKIJ, E. V. 1972. Fizikomehancicseszkie szvojsztva udobrenij. Masini dlja vneszenija udobrenij, Masinosztojenie. Moszkva. 21-25. p.
41. ELIA, P. 1966. Aspetti tecnici della distribuzione dei concimi minerali solidi. Genio Rurale. Bologna. 29. köt. 3. sz. 229-245. p.
42. FEKETE, A. 2000. Precíziós termesztés. Agrofórum. 11. évf. 14. sz. 54-55. p.
43. FINKE, P. 1992. Spatial variability of soil structure and its impact on transport processes and some associated land qualities. PhD-thesis Wageningen, 131. p.

44. FUHRMANN, H. 1978. Der LKW-Streuaufsatz D-035 und seine konstruktiven Besonderheiten. Agrartechnik. 28. évf. 6. sz. 249-253. p.
45. GILLEMOT, L. 1955. Metallográfia és anyagvizsgálat. Tankönyvkiadó. Budapest.
46. GINDERT, K. Á. 2003/a. Valós szóráskép jóslása nitrogén és összetett műtrágyák esetén a ballisztikus probléma megoldásával. Mezőgazdasági Technika. 44. évf. 4. sz. 2-4. p.
47. GINDERT, K. Á. 2003/b. Fertiliser Pattern Prediction of Spinning Disc Spreaders. Hungarian Agricultural Reseach. 3. sz. 6-8. p.
48. 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.
49. HEEGE, H. J. – RÜHLE, K. 1976. Düngerverteilung durch pneumatische Steuergerte. Grundlagen der Landtechnik. 26. kötet. 6. sz. 222-230. p.
50. HENSEL, O. 2003. Methode zur Streubildkontrolle bei Wurfstreuern. Landtechnik. 58. évf. 1. sz. 12-13. p.
51. HEYMANN, W. 1977. Zur Applikation von Harnstoff mit dem LKW-Schleuderstreuer D-032-N. Agrartechnik. Berlin. 27. évf. 2. sz. 50-51. p.
52. HEYMANN, W. 1980. Anforderungen an zukünftige Verfahren der Applikation von Mineraldüngern. Agrartechnik. 30. évf. 2. sz. 82-83. p.

53. 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.
  
54. HOFSTEE, J. W. – HUISMAN, W. – SPEELMAN, L. 1990. Physical Properties of Fertilizer in Relation to Spreading and Handling. Ag.Eng90. Berlin. Oktober 23-27.
  
55. 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.
  
56. HOFSTEE, J. W. 1993. Physical Properties of Fertilizer in Relation to Handling and Spreading. Thesis Wageningen. ISBN 90-5485-149-X. 145. p.
  
57. HOLLMANN, W. – MATHES, A. 1962. Untersuchungen an Schleuderdüngerstreuer. Landtechnische Forschung. 12. évf. 6. sz. 179-186. p.
  
58. INNS, F. M. – REECE, A. R. 1962. The theory of the centrifugal distributor, II: motion on the disc, off-centre feed. Journal of Agricultural Engineering Research. 7(4): 345-353.
  
59. IRLA, E. 1976. Untersuchung über Schleuderstreuer mit Anfeuchtgeräten für staubfreies Ausbringen pulveriger Mineraldünger. Schweizer Landtechnik. Brugg, 38. évf. 7. sz. 433-440. p.
  
60. JEDWABINSKI, Z. 1967. Badanie poprawicnego prototypu rozsiewacza zawieszanego RNZ. Kutatási jelentés. PIMR. Poznan.

61. JOHANSSON, S. 1977. Vad betyder gödselmedlen och spridningen. Lantmannen. Stockholm. 98. köt. 10. sz. 28-30. p.
62. KAIFÁS, F. 1975. A műtrágyaszemcsék pályagörbéinek felhasználása a szórótárcsák munkájának értékelésénél. Járművek, Mezőgazdasági Gépek. 22. évf. 12. sz. 449-452. p.
63. KAPLAN, I. G. 1977. Obosznovanie dopusztimov neravnomernoszti raszszeva udobrenij. Mehanizacija i Élektifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajszta. Moszkva. 1. sz. 37-38. p.
64. KÄMPFE, K. – GREINER, K. 1986. Einfluss variirter Schleuderscheibendrehzahlen auf die Kornzerstörung bei der Mineraldüngerapplikation. Agrartechnik. 36. évf. 5. sz. 226-228. p.
65. KEGELESZ, E. SZ. 1969. O proektirovanii centrobezsnüh nazbraszüvatelej. Traktorü i Szel'hozmasinü. Moszkva. 3. sz. 32-33. p.
66. KJOHL, O. 1976. Product quality requirements in bulk shipment of fertilizers. ISMA Technical Conference. Hága. 144-165. p.
67. 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.
68. KOZLOVSZKIJ, E. V. – KIJSZLER, M. A. 1970. Koefficient trenija mineral'nüh udobrenij. Mehanizacija i Élektifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajszta. Moszkva. 1. sz.43-44. p.
69. KÖKUTI, A. 2005. Röpítőtárcsás műtrágyaszóró gépek fejlesztésének alapösszefüggései. Doktori értekezés. Debrecen.

70. KUSILKIN, B. A. 1966. Iszszledovanie centrobezsnüh razbraszüvetelej mineral'nüh udobrenij. Mehanizacija i Élektrifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztva. Moszkva. 24. évf. 4. sz.10-15. p.
71. LUERS, H. 1975. Accuracy up to the operator. Arable Farming. Ipswich. 2.(7). 25-26. p.
72. MANCZEL, J. 1983. Statisztikai módszerek alkalmazása a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
73. MENNEL, R. M. – REECE, A. R. 1963. The theory of the centrifugal distributor, III.: Particle trajectories. Journal of Agricultural Engineering Research. 8(1): 78-84. p.
74. 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.
75. MESTERHÁZI, P. Á. 2004. Termőhely-specifikus precíziós növénytermesztés műszaki feltételrendszere. Doktori (PhD) értekezés tézisei. Mosonmagyaróvár.
76. MIKES, K. 1969. Stroje pro aplikaci prumyslovyh hnojiv v Anglii. Mechanizace Zemedelstvi. Praha. 19. évf. 3. sz. 82-86. p.
77. MIKES, K. – DAIDL, M. 1969. Die Mechanisierung der Arbeiten mit festem Handelsdünger in der CSSR. Deutsche Agrartechnik. 19. évf. 1. sz. 16-19. p.

78. 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.
79. MORIN, I. 1967. Nekotorüezakonomnoszti raszpredelnija udobrenij centrobezsnümi apparatami. Mechanizacija i Élektrifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztv. Moszkva. 25. évf. 3. sz. 29-31. p.
80. 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.
81. 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.
82. OEHRING, J. 1966. Konstruktion und Streuqualität bei Schleuderdüngerstreuer. Landtechnik. München. 21. évf. 4. sz. 92-98. p.
83. 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.
84. PAULEN, J. 1976. Možnosti zlepšenia kvality práce odstredivých rozhadzacov priemyselných hnojív. Mechanizace Zemedelstvi, Praha. 26. köt. 2. sz. 69-70. p.
85. PECZE, ZS. – NEMÉNYI, M. – MESTERHÁZI, P. Á. 2001. A helyspecifikus tápanyag-visszapótlás műszaki háttere. Mezőgazdasági Technika. XLII: évf. 2. szám. 5-6. p.

86. 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.
87. POLONECKIJ, SZ. D. – PEREVERZEV, V. D. 1969. Fiziceszkoe modelirovanie proceszsza raszszeva udobrenij centrobezsnum razbraszsuvatelem. Mechanizacija i Élektrifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztva. Moszkva. 27. évf. 7. sz. 45-47. p.
88. 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.
89. PRUMMEL, J. – DATEMA, P. 1962. Strooiregelmatt van Kunstmeststrooiers en de betekenis darvan voor de obbrengst. Landbouwmeehanisatie. Wageningen. 9. évf. 13. sz. 742-752. p.
90. RJADNÜH, V. 1965. O kacseszttve raszpredelenija udobrenij rotornüm razbraszsuvatelem. Trakroü i Szel' hozmasinü. Moszkva. 10. sz. 27-29. p.
91. RUMJANCEV, I. V. 1971. Osznovnüle parametrü centribezsного razbraszsuvatelja udobrenij. Mehanizacija i Élektrifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztva. Moszkva. 29. köt. 1. sz. 7-9. p.
92. RUTLAND, D. 1986. Manual for determining physical properties of fertilizer. Reference Manual IFDC-R-6. Muscle Shoals. AL: International Fertilizer Development Center. 91. p.
93. RÜHLE, K. 1976. Düngerverteilsysteme und die Besonderheiten von pneumatischen Geräten. Landtechnik. 31. évf. 12. sz. 540-544. p.

94. RÜHLE, K. 1977. Querverteilung pneumatischer Düngerstreuer. Landtechnik. 32. évf. 5. sz. 202-207. p.
95. SAIDL, M. 1977. Indikace kvality rozmetáni tuhých prumyslových hnojiv. Mechanizace Zemedelstvi. Praha. 27. évf. 6. sz. 254-258. p.
96. SÁRVÁRI, M. 2002. A kukorica termesztéstechnológiájának EU konform fejlesztése. EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság. Tudományos Konferencia. Debrecen. 91-97. p.
97. SÁRVÁRI, M. 2004. Takarmánynövények biológiai alapjainak vizsgálata. Integrált agrárgazdasági modellek a XXI. század mezőgazdaságában. Debrecen. 35-51 p.
98. SCHAUER, A. – RAUCH, N. – MARQUERING, J. – CHAPPUIS, A. 2003. Europäische Norm für Mineraldüngerstreuer. Landtechnik. 58. évf. 2. sz. 102-103. p.
99. SEDLAK, F. 1970. Prumyslová hnojivá a odstredivá rozmetadla. Mechanizace Zemedelstvi. Praha. 20. köt. 4. sz. 134-136. p.
100. SCHÜNKE, U. 1978. Düngausbringung. Landtechnik. 33. évf. 6. sz. 272-274. p.
101. SCHÜNKE, U. 1980. Randzonenprobleme bei der Düngung. Landtechnik. 35. évf. 2. sz. 66-68. p.
102. SOGAARD, H. T. – KIERKEGAARD, P. 1994. Yield reduction resulting from uneven fertiliser distribution. Transactions of the ASAE. 37(6). 1749-1752.

- 103.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.
- 104.SOLEYMANGOLI, A. 1998. Applying computer simulation and experiments to figure out an optimal distribution pattern of spinning discfertilizer spreaders. PhD dissertation. Gödöllő.
- 105.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.
- 106.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.
- 107.TÜL'NÜJ, SZ. A. 1978. Kinematika centrobezsnogo diszka razbraszüvatelja. Mechanizacija i Életrifikacija Szocialiszticeszkogo Szel'szkogo Hozjajsztva. Moszkva. 6. sz. 13-15. p.
- 108.VELEBIL, M. 1974. Analyza metod zjistovani fyzikanich vlastnosti materiálu s aplikaci na vykali. Zemedelská technika. Praha. 20. köt. 6. sz. 305-307. p.
- 109.VOJTOV, P. I. 1979. Effektivnee iszpol'zovat' udobrenija. Tehnika v Szel'szkom Hozjajsztve. Moszkva. 5. sz. 8. p.
- 110.ZIMMERMANN, R. 1973. Ertragsverlust durch schlechte Streuqualität fester N-Düngemittel und Möglichkeiten zur Vermeidung von Streufehlern. Feldwirtschaft. 10. sz. 463-465. p.

111.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.

## **10. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK**

CSIZMAZIA, Z. – BALLÓ, B. – KASZA, F. – POLYÁK, N. I. – HAGYMÁSSY, Z. – GINDERT, K. Á. – ANCZA, E. 2001. Súrlódásmérő készülék fejlesztése. Mezőgazdasági Technika. 4-6. p.

CSIZMAZIA, Z. - HAGYMÁSSY Z. - GINDERT K. Á. - ANCZA E.: Összetett műtrágya súrlódási viszonyainak vizsgálata. Georgikon Napok, Keszthely, 2001

**E. ANCZA - Z. CSIZMAZIA - A. K. GINDERT - Z. HAGYMÁSSY:** Friction between fertilizer particles and different types of surfaces. Hungarian Agricultural Engineering, 15/2002. 41 – 43. p.

CSIZMAZIA Z. - ANCZA E. - GINDERT K. Á. - HAGYMÁSSY Z.: Internal friction of fertilizers. AgEng International Conference on Agricultural Engineering, Budapest, 2002.

**ANCZA E.:** Műtrágyaszóró gép munkaminőségi vizsgálata. EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság. Tudományos Konferencia, Debrecen, 2002. 350-354. p.

**ANCZA E. - CSIZMAZIA Z. - GINDERT K. Á. - HAGYMÁSSY Z.:** Műtrágyaszemcsék súrlódása különböző felületeken. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2002.

HAGYMÁSSY Z. - CSIZMAZIA, Z. - GINDERT K. Á. - ANCZA E.:

Műtrágyaszemcsék belső súrlódása Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2002.

GINDERT K. Á. - CSIZMAZIA Z. - ANCZA E. - HAGYMÁSSY Z.:

Műtrágyaszemcsék néhány fizikai jellemzője. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2002.

GINDERT K. Á. - CSIZMAZIA Z. - **ANCZA E.** - HAGYMÁSSY Z.: Mútrágyák fizikai jellemzőinek összehasonlító vizsgálata. Wellmann Oszkár Tudományos Tanácskozás. Hódmezővásárhely, 2002.

GINDERT K. Á. - CSIZMAZIA Z. - **ANCZA E.** - HAGYMÁSSY Z.: Mútrágyák aerodinamikai jellemzőinek vizsgálata. V. Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia, Szeged 2002.

**ANCZA E.** - CSIZMAZIA Z. - GINDERT K. Á. - HAGYMÁSSY Z.: Mútrágyaszóró gép munkaminőségi jellemzői. V. Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia, Szeged 2002.

HAGYMÁSSY Z. - CSIZMAZIA Z. - GINDERT K. Á. - **ANCZA E.**: Módosított parcella szórógép vizsgálata. V. Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia, Szeged 2002

**ANCZA E.** - CSIZMAZIA Z.: Nagyító alatt...Sulky DPX Expert mútrágyaszóró gép. Gyakorlati Agrofórum. 2002. 10. 64-66. p.

**E. ANCZA:** The Test Results of Sulky DPX Expert Fertiliser Distributor. Natural Resources and Sustainable Development, International Scientific Session, Oradea, 2003.

**ANCZA E.**: Röpítőtárcsás mútrágyaszóró gép szórólapátjainak jellemzői és azok hatása. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2003.

**ANCZA E.** -GINDERT K. Á. -HAGYMÁSSY Z.: Röpítőtárcsás mútrágyaszóró gépek lapátjellemezőinek hatása a munkaszélességre és a szórás egyenletességre. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2004.

CSIZMAZIA Z. - **ANCZA E.** - KŐKUTI A.: Nagyteljesítményű mútrágyaszóró gép fejlesztése. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2004.

HAGYMÁSSY Z. - GINDERT K. Á. - **ANCZA E.**: Mikroparcella műtrágyaszóró gép vizsgálata. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2004.

GINDERT K. Á. - HAGYMÁSSY Z. - **ANCZA E.**: Műtrágyák szórásképének jóslása a szemcsék vizsgálata alapján. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2004.

**E. ANCZA** –A. KŐKUTI: Technical Conditions of Environment Protecting Fertilizer Application. Sustainable Agriculture across Borders in Europe. International Scientific Session, Debrecen –Oradea, 2005. 89-98 p.

## **11. MELLÉKLETEK**

*1.sz. melléklet*

*2. sz. melléklet*

*3. sz. melléklet*

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatómunkámhoz és dolgozatom megírásához nyújtott segítségéért, elsősorban témavezetőmnek, dr. Csizmazia Zoltán professzor úrnak tartozom köszönettel.

Köszönöm dr. Grasselli Gábor, tanszékvezető, egyetemi docens úr, és a tanszék valamennyi dolgozójának, valamint Nagyné dr. Polyák Ilonának a segítségét.

Külön is megköszönöm a Tornádó International Kft. által nyújtott segítséget.

Köszönöm bírálóimnak, dr. Kaifás Ferenc professzor úrnak és dr. Sárvári Mihály docens úrnak a dolgozat jobbításához adott igen értékes útmutatásait és tanácsait.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm családom több éves megértését és türelmét.