



Csermely Jenő

**A nedvesszemes-
kukorica-zúzalék
tárolásának
műszaki és technológiai
összefüggései**

Akadémiai Kiadó, Budapest

**A nedvesszemeskukorica-zúzalék tárolásának
műszaki és technológiai összefüggései**

**A mezőgazdaság műszaki fejlesztésének
tudományos kérdései
83.**

Gondozza

az MTA Agrártudományok Osztálya
Agrárműszaki Bizottsága

Szerkesztő

Dr. Tibold Vilmos
egyetemi tanár

23432.

Csermely Jenő

**A nedvesszemeskukorica-zúzalék
tárolásának
műszaki és technológiai
összefüggései**

MTAK



0 00014 37400 5



Akadémiai Kiadó · Budapest 1993

508590

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADEMIA
KÖNYVTÁRA

ISBN 963 05 6578 1

Kiadja az Akadémiai Kiadó, Budapest 1993

© Csermely Jenő, 1993

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás,
a nyilvános előadás, a rádió- és televízióadás,
valamint a fordítás jogát, az egyes fejezeteket illetően is.

Printed in Hungary

M. TUD. AKADEMIA KÖNYVTÁRA

Könyvtár 3158 40 94

Tartalomjegyzék

1. A kutatási feladat előzménye	7
1.1. A kutatások célja	8
2. A témakör hazai áttekintése	9
3. A kutatások módszere és eredménye	18
3.1. A nedves szemeskukorica aprítása	18
3.2. A nedvesszemeskukorica-zúzalék tömörítése és sűrűsége	33
3.3. Horizontál silók falnyomása a zúzalék tömörítésénél	44
3.4. A nedvesszemeskukorica-zúzalék frakcionálása	48
4. A kutatás legfontosabb megállapításai	59
5. Javaslatok az eredmények hasznosítására	62
6. Legfontosabb jelölések	64
Irodalom	65

I. A kutatási feladat előzménye

A magyar mezőgazdaságban a gabonatermelésnek mindig kulcsfontosságú szerep jutott. Ezen belül is meghatározó a szántóterület közel 30%-án termesztett kukorica, amely az állattartás abraktakarmány-szükségletének több mint 70%-át biztosítja.

A 70-es évek második felében végbement olajárrobbanás rendkívüli helyzet elé állította a mezőgazdaságot is. A kutató-fejlesztő és üzemeltető szakemberek elsőrendű feladatuknak tekintették a különféle energiatakarékos tartósítási, tárolási és felhasználási technológiák kidolgozását és alkalmazását.

Az 1980-as évek kezdetén, a központilag megfogalmazott átfogó kutatás-fejlesztési program súlypontjában a nedvesszemeskukorica-tartósítás, -tárolás és -felhasználás nagyüzemi technológiáinak a kidolgozása állt. E program szerves részét képezte a műszaki és biológiai kutatások felgyorsítása, új gépek és berendezések kifejlesztése, valamint referenciaüzemi technológiák megvalósítása.

A szemeskukorica-zúzalék tartósításánál a biológiai és műszaki kérdések láncolatában, *a tárolással szorosan összefüggő technológiai műveletek* közül az aprításnak és a tömörítésnek meghatározó jelentőség tulajdonítható. Az *aprítás* során létrehozandó szemcseméret jelentősége túlnő a darálás gépezetani kérdésein, mivel a technológiai folyamat — tömöríthetőség, keverés és kiosztás homogenitása, értékesülés — egészére kihatással van.

A *tömörítésnél* biztosítandó tárolási sűrűség közvetlen összefüggésben van a minőséggel, a veszteség mértékével és a takarmány hasznosulásával.

Mindezek figyelembevételével a nedvesszemeskukorica-zúzalék tárolásával kapcsolatban azoknak a legfontosabb *műszaki és technológiai összefüggéseknek a feltárását tűztem ki célul*, amelyek ismerete a takarmány minőségének a jobb megőrzését és a tartósítás biztonságát szolgálják.

1.1. A kutatások célja

a) *A nedves szemeskukorica aprításánál:*

- a nedvességtartalom és az aprítás során létrehozott fajlagos felületnövekedés kapcsolata,
- a tömegáram, a fajlagos felületnövekmény és a fajlagos energiaszint összefüggései,
- az energiafelhasználás megoszlása, az aprítási energiahányad megállapítása.

b) *Horizontál silóknál a zúzalék tömörítésével összefüggésben:*

- a tömörítő nyomás és a terhelési szám befolyása a takarmány sűrűségére,
- a nedvességtartalom és a szemcseméret hatása a sűrűségre,
- a tömörítés során a tároló oldalfalára ható nyomásértékek megállapítása.

c) *A nagy szemcseméretű erjesztett zúzalék frakcionálásával kapcsolatban:*

- kísérleti berendezés kialakítása, a műszaki és munkaminőségi jellemzők megállapítása,
- az üzemi gyakorlatban előforduló, különféle szemcseméretű zúzalékhalmozatok munkaminőségi és energetikai összefüggésének elemzése.

2. A témakör hazai áttekintése

A nedvesszemeskukorica-zúzalékok erjesztéses tartósításának hazai térhódítása 1981-ben indult, bár a műszaki-technológiai és takarmányozási kísérletek, valamint korlátozott mértékű üzemi alkalmazásuk (Szekszárdi Á. G., Tamási Á. G., Komáromi Á. G.) már a 70-es évek elején megkezdődtek.

1981-től 1987 őszeig bezárólag több mint 4 millió tonna szemeskukorica-zúzalék készült, ami éves átlagban 570—580 ezer tonna felhasználást jelent. A rekordot az 1983-as esztendő jelentette, amikor több mint 900 ezer tonna zúzalék tartósítására került sor. Az 1985—87. aszályos években a nedvestartósítás volumene évi 450—500 ezer tonnára mérséklődött, amikor is a kukorica betakarítási nedvességtartalma sok helyen 20—22% alá csökkent. A viszonylagos visszaesésnek a másik fő oka az volt, hogy az üzemek egy része — ahol a műszaki-technológiai és személyi feltételeket nem tudták biztosítani — abbahagyta a nedveskukorica készítését.

A nedves tárolási technológiát alkalmazó üzemekben ma már szinte *kizárólag szemeskukorica-zúzaléket* készítenek, a szem-csutka keverék (CCM) felhasználása — a kezdeti sikerek után — teljesen visszaszorult és csak néhány nagyüzemre (Pápai Á. G., Paksi Á. G.) korlátozódik.

A nedvesszemeskukorica-zúzalék és a szem-csutka keverék készítése általában 28—35% betakarítási *szem-nedvességtartalom* mellett történik. Toronytárolás esetén ez nem haladja meg a 24—28%-ot.

Szem-csutka keverék betakarítására azokat az arató-cséplő

1. táblázat. Nedveskukorica-daralók főbb üzemeletetési jellemzői
(MÉMMI 1981—86)

	Mérték- egység	BF-7D	BF-7K	CKZ-20	DZ-600T	IGK-30B
Rendszere	—	kalapácsos dízelmotor	kalapácsos TLL	kalapácsos villamos	kalapácsos TLL	csapos villamos
Hajtásmód	—	114—131	68—86	64—78	53—94	32—34
Teljesítményfelvétel	kW	110,6	86,5	99,0	47,1	43,2
Rotor kerületi sebessége	m/s	21—25	15—21	13—14	16—20	15—17
Produktív üzemi teljesítmény	t/h	4,3—4,5	3,4—4,0	3,9—5,0	3,2—3,9	2,0—2,1
Fajlagos energiafelhasználás	kWh/t	1,2—1,6	1,3—1,9	2,6—3,5	1,5—2,7	1,75—3,7
Szemcseméret (d_{50})	mm					

2. táblázat. Horizontál silók főbb adatai
(MÉMMI 1981—83)

	Mérték- egység	Ferde falú „A” szelvényű vasbeton silóelem	Függőleges falú „T” szelvényű silóelem	Függőleges falú „L” szelvényű silóelem	Függőleges falú „H” szelvényű silóelem
Gyártó	—	BVM, Lábatlan	BVM, Szolnok	ÉGSZÓV, Kiskunlacháza	Egyedi kivitel
Tárolási magasság	m	2,8—5,0	2,8—4,5	2,2—2,5	2,4—3,6
Javasolt cellaszélesség	m	12—14	12—14	8—12	10—14
A cellák átlagos térfogata	m ³	800—2000	1000—1800	500—1000	1400—1700

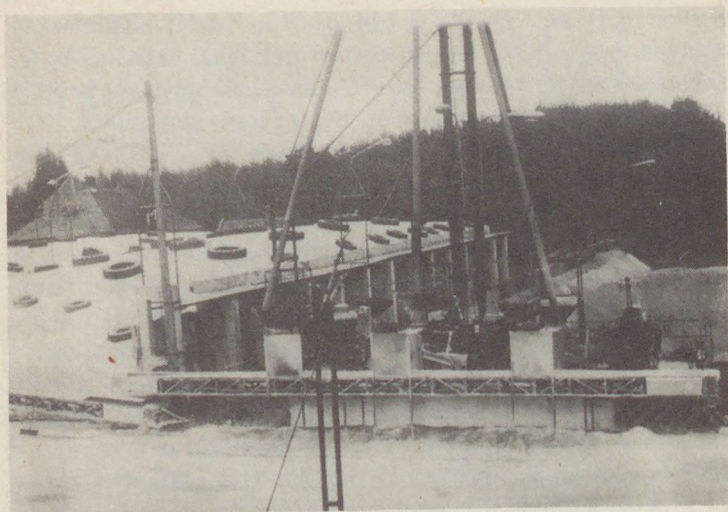
gépeket (CD-96, CD-105, E-514, E-516, E-524) alkalmazzák, amelyek erre a célra kiegészítő tartozékokkal szerelhetők fel. Ebben az esetben a csutka 65—85%-ban betakarításra kerül, és ez eredményezi a takarmány 5—6% nyersrosttartalmát.

A *horizontál silókban* történő erjesztéses tartósításnál a betárolást megelőzően sor kerül a nedves szemeskukorica *darálására*. Az aprítás mértéke nagyban befolyásolja a takarmány tömöríthetőségét, a tárolás minőségét, a keverés és kiosztás homogenitását, ill. munkaminőségét, és végül a takarmányértékesülést is. Általában az 1,5—2,5 mm-es átlagos szemcseméretet kell a darálás során biztosítani. A hazai gyártmányú darálók — amint az az 1. táblázatból is kitűnik — általában mind a teljesítmény, mind a munkaminőség szempontjából megfelelőnek mondhatók. Közülük a legelterjedtebben alkalmazott BF-7 típusok emelendők ki a 15—25 t/h üzemi teljesítménnyel, és az 1,2—1,9 mm-es átlagos szemcseméret-tartománnyal, valamint a 3,4—4,5 kWh/t fajlagos energiafelhasználással.

A nedvesszemeskukorica-zúzalék tárolására 1981—85 között összesen 978 ezer tonna tárolókapacitás létesült, amelynek döntő hányadát a három oldalfallal határolt előre gyártott betonlelemből, vagy monolitbeton szerkezetből épült *horizontál silók* képezik (2. táblázat).

A *tárolótelepek* befogadóképessége — a cellák méretétől és számától függően — 4000—12000 tonna között változik, ahol 25—65 t/h átteresztőképességű fogadó-aprító és anyagmozgató gépcsoport biztosítja egy-egy cella 2—3 napos betárolási időtartamát (1. ábra).

A *zúzalék tömörítésére* általában nehéz univerzális traktorokat (K-700, T-150K és Rába-250) alkalmaznak és csak ritkábban fordulnak elő lánctalpas traktorok. Jó tömörítés esetén — a szemcsemérettől, a nedvességtartalomtól és a takarmányhalmoz magasságától függően — a 850—1050 kg/m³ átlagos takarmánysűrűség érhető el, amely a jó minőség egyik alapfeltétele (2. ábra).



1. ábra. A 65 t/h teljesítményű darálóvonal három BF-7 berendezéssel
(Törökszentmiklósi Á. G.)



2. ábra. Terítés és tömörítés K-701 traktorokkal

A silócellák zárásánál általában kettős fóliatakarást alkalmaznak, közte 10—15 cm vastagságú homokréteggel. *Horizontál silókban a zúzalék kitermelésére* elsősorban azokat a silómaró-rakodókat célszerű alkalmazni, amelyek függőleges falat készítenek, és szállítószalagos (vagy csigás) anyagtovábbító rendszerrel üzemelnek. A dobóventilátoros szállításnál — ezen anyagféleségnél — jelentős a porzási veszteség. Az alkalmazott silómaró-rakodók jellemzőit a 3. táblázatban találjuk. Közülük a WET-CORN 25 jelű berendezés emelendő ki, amely 12,7—15,3 t/h üzemi teljesítménnyel, 0,55—0,65 kWh/t fajlagos energiaigénnyel, és kedvező üzembiztossági tényezővel rendelkezik (3. ábra).

A kitárolás ütemét a naponta felhasznált takarmány mennyi-



3. ábra. Horizontál siló kitermelése WET-CORN 25 berendezéssel

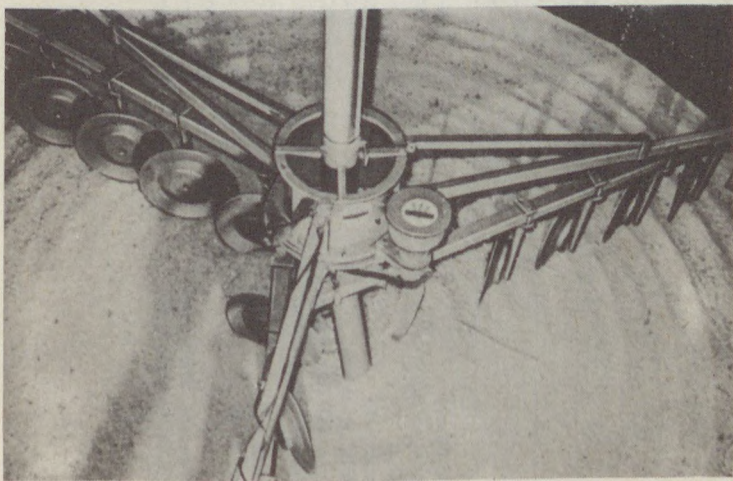
3. táblázat. Horizontál silók kitermelő berendezéseinek főbb vizsgálati adatai
(MEMMI 1981—83)

	Mértékegység	WET-CORN 25	SILEX-5T	MENGELE F-5000
Kivitel		önjáró	függesztett	függesztett
Hajtás módja		villamos	TLT	TLT
Hajtóteljesítmény-igény	kW	12,5	50,0	35,0
Működési magasság	mm	4150	5000	5250
Maródob kerületi sebessége	m/s	8,30	3,89	4,92
Anyagszállítás módja		szállítószalag	dobóventilátor	dobóventilátor
Produkktív üzemi teljesítmény	t/h	12,7—15,3	16,3—21,7	18,00
Fajlagos energiafelhasználás	kWh/t	0,55—0,65	2,94—3,27	2,35

sége határozza meg, amit a siló teljes felületéről kb. 20-30 cm-es rétegben ajánlatos kitermelni, és 48 órán belül feletetni.

A létrehozott *tárolókapacitás kb. 9%-át képezik a toronysilók*, amelyekből az elmúlt évek során mintegy 120-130 épült. A fontosabb toronytárolók és gépi berendezések vizsgálati adatait a 4. táblázat foglalja magában. Hazai viszonylatban ezekben a toronysilókban kizárólag nedves szemeskukoricát tárolnak, és a betárolás előtt elmarad a darálás. Ugyanakkor a töltőgépek „ütő” és „törő” hatása révén a betárolt szemeskukorica 52—81%-a tört szemnek minősül, amely 4,5—5,7 mm-es átlagos szemcseméretben nyilvánul meg. A toronyban tárolt nedves termény darálására — a kitermelés napi ütemének megfelelően — közvetlenül a felhasználás előtt kerül sor a keverőüzemi feldolgozásnál.

Az alsó ürítésű *kitermelőmarókat* a nagyobb 5,9—13,0 t/h teljesítmény, a kedvezőbb 2,5—4,4 kWh/t fajlagos energiafel-



4. ábra. Felső ürítésű NEUERO toronykitermelő berendezés

4. táblázat. Nedveskukorica-tároló toronysílok főbb műszaki jellemzői
(MÉMMI 1982—84)

	Mérték- egység	MEZŐGÉP Kecskemét	NEUERO	NEUERO	FUNKI
Tároló típusa	m ³	KN—6,7 650	BL 6/23 598	BL 9/25 1057	GFC 250/75 917
Névleges térfogat					
<i>Betárolás</i>					
—rendszer		mechanikus	dobóventilátor	dobóventilátor	dobóventilátor
—töltőgép típusa	t/h	F—40	AG—IV + SG—IV	AG—IV + SG—IV	KAM 54
—alapidejű teljesítmény	MJ/t	21,5—28,7	22,7—24,5	19,9—20,8	14,0—16,0
—fajlagos energiaigény		0,9—0,94	3,5—4,4	4,7—4,9	8,3—9,5
<i>Kitárolás</i>					
—rendszer		alsó ürités	felső ürités	felső ürités	alsó ürités
—maró típusa	t/h	SM—6,7	AS + SAG—20	AS + SAG—20	COMELLI
—alapidejű teljesítmény	MJ/t	6,6—10,8	4,1—4,5	3,5—3,6	5,9—13,0
—fajlagosenergia-igény		2,7—4,4	9,5—10,3	12,7—13,1	2,5—4,05

használás jellemzi, de a felső kitermelésű berendezések (4. ábra) nagyobb üzembiztonsággal rendelkeznek.

Általában a toronytárolási technológiákat magasabb szintű gépesítettség, alacsonyabb tárolási veszteség és kisebb energia-ráfordítás jellemzi — a horizontál silókhoz képest —, azonban ez együttesen sem tudja mindig ellensúlyozni a mintegy három-három és félszeres (3870—4510 Ft/t) fajlagos beruházási költség-többletet.

3. A kutatások módszere és eredménye

3.1. A nedves szemeskukorica aprítása

A probléma felvetése

A nedves szemeskukorica darálásával összefüggő vizsgálatok általában befejeződtek a nedvességtartalomtól függő tömegáram- és fajlagosenergiafelhasználás-változás mértékének meghatározásánál. Az a nedvességtartalom-intervallum, amelyben a korábbi mérések történtek, bár alapot ad az összehasonlításra, annak további szélesítésével a levonható következtetések biztonsága növelhető.

A nedves szemeskukorica aprítási törvényszerűségének meghatározásához olyan alapösszefüggések vizsgálatát kell elvégezni, amelyek magukban foglalják ugyan a nedvességtartalomtól függő tömegáram- és fajlagosenergiafelhasználás-változásokat, de ezentúl feltárják a fajlagos felületnövekedéssel és a fajlagos energiaszinttel való összefüggéseket is. Ezen célkitűzések eléréséhez meghatározandó a *nedvességtartalom befolyása*:

- a) a tömegáramra; $Q = f(w)$,
- b) a fajlagos energiafelhasználásra; $e = f(w)$,
- c) a fajlagos felületnövekedésre; $\Delta f = f(w)$,

továbbá:

- d) a tömegáram és fajlagos felületnövekedés kapcsolata $\Delta f = f(Q)$, valamint
- e) a fajlagos felületnövekedés és a fajlagos energiaszint viszonya; $v = f(\Delta f)$.

Külön méréssorozatot és új mérési módszert alkalmaztunk ahhoz, hogy a *nedves termény darálásánál* megválaszolható legyen az a kérdés:

f) mekkora energiahányad fordítódik az aprításra, a súrlódásra és a szállításra.

A vizsgálatok módszere

Az alkalmazott berendezés és műszer

Vizsgálatainkat minden esetben a BM-4-750 jelű darálóval, és a hozzá kialakított adagolóegységgel, valamint mérőrendszerrel végeztük. Ez biztosította a legszélesebb mérettartományt. A BM-4-750 típusú axiális beömlésű (2 × 6 db) kalapácsos daráló, amelynek kerületi sebessége 76 m/s, és a 6; 8; 12 és 16 mm átmérőjű rosták 360°-os szögben veszik körül a rotort. A rosta-jellemzőket az 5. táblázat tartalmazza.

A darálót 37 kW teljesítményű 2900 min⁻¹ fordulátú villamos motor hajtja. A darálótérből az anyag elszállítását két dobólapáttal ellátott — és a rosta mögé beépített — ventilátor végzi, majd ciklon választja le.

A daráló kiszolgálása KCD-101 és KCD-201 csősigákkal történt. A kívánt tömegáram beállítása egyrészt a szállítócsigák együttes, ill. váltakozó üzemeltetésével, másfelől a fogadógaratnál a beömlési keresztmetszet változtatásával valósult meg.

5. táblázat. BM-4-750 daráló rostajellemzői

Rostaméret	Felület			
	összes [cm ²]	lyukazat [cm ²]	vak [cm ²]	$a_v = \frac{\text{vak}}{\text{összes}}$ [%]
6 mm	1952	401,5	1550,5	79,4
8 mm	1952	772,9	1179,1	60,4
12 mm	1952	877,2	1074,8	55,1
16 mm	1952	892,2	1059,8	54,3

A villamos mérésekhez 100/5 amperes 1,5% hibahatárú áramváltókat, illetve az azokra csatlakoztatott wattos fogyasztásmérőket alkalmaztunk. Egyidejűleg villamos mérőbőröndöt is beépítettünk a rendszerbe, a kívánt terhelési szint beállításához, ill. az energiafelvétel ellenőrző mérésére.

Az aprítási mérések módszere. Üzemi méréseinket a rostamérettől és nedvességtartalomtól függetlenül mindig a villamos motor névleges terhelésének megfelelően, annak közeli leterhelési szintjén igyekeztünk elvégezni. Egy-egy mérési szakasz időtartama 15 perc körül volt, és a feldolgozott tömeg 850—3200 kg között változott, elsősorban a rostamérettől függően. A vizsgálatok során meghatároztuk a daráló alapidejű tömegteljesítményét, és a wattos energiaszükségletét, valamint a feldolgozott tömeg mennyiségét és fizikai jellemzőit.

A szemcseméret-analízis módszere. A vizsgálatokat az MSZ—15474—80 szerint végeztük két-két 500 grammos mintával. A mintákat 250 W-os infralámpákkal kb. 8 óra alatt 16—18% körüli nedvességtartalomra szárítottuk. A szitálásra a 400 mm átmérőjű legnagyobb méretű FRITSCH A-18 jelű berendezést alkalmaztuk. A nyert frakciók tömegéből számítással, ill. szerkesztéssel határoztuk meg:

- a d_{50} mediánt (mm),
- a $d_{\text{át}}$ átlagos szemcseméretet (mm),
- az egyenetlenségi mutatót (U),
- a fajlagos felületet (cm^2/g).

Az energiamegoszlás vizsgálati módszere. A darálás során felhasznált összes energia a következőkből tevődik össze:

$$E_{\text{ö}} = E_{\text{ü}} + \underbrace{E_{\text{a}} + E_{\text{s}} + E_{\text{sz}}}_{E_{\text{hasznos}}}$$

Az üresjárási energiaigényt ($E_{\bar{u}}$) a különböző lyukméretű rosták behelyezésével, nyitott beömlőnyílásnál mértük.

Az aprítási energiahányadot (E_a) a nedves szemes-, illetve a darálón már átengedett, tehát a felaprított termény többszöri újraaprításával határoztuk meg. Ennek során a következő feltételezésekkel éltünk:

- közel azonos tömegáramot biztosítunk az első, és az ismétlődő darálásoknál,
- a többszöri darálás során a terhelési szint csökkenése, majd beállta az aprítás gyakorlati befejeződését jelenti,
- rostamérettől függetlenül az aprítottság mértéke (d_{50}) már számottevően nem változik az utolsó darálásnál,
- az első és az utolsó darálás villamosenergia-felvételének különbsége adja az aprítási energiát.

A szállítási energiaigényt (E_{sz}) az aprítást végző rosták és a kalapácsok eltávolítását követően határoztuk meg 3,75—9,65 t/h-s tömegáramhatárok között. Az ilyen módon meghatározott átlagos 0,91 kWh/t fajlagos energiaigény, valamint a tényleges tömegáram alapján számoltuk a szállításra fordított energia mennyiségét.

A súrlódási munkára (E_s) eső energiárfordítás a mért bruttó energiafelvétel, valamint a felsorolt részenergiák különbségéből adódott.

Az adatfeldolgozás és értékelés módszere. A mérési adatok feldolgozását Commodore-64 számítógépen végeztük. Rostaméretenként a következőket határoztuk meg:

- nedvességtartalom (w),
- alapidejű tömegteljesítmény (Q),
- hasznos energiafelhasználás (E_h),
- fajlagos felületnövekedés (Δf),
- fajlagos energiaszint (v).

A feldolgozás során a nedves szemeskukorica fajlagos felületét, átlagosan $f=7,2 \text{ cm}^2/\text{g}$ -ban, a daráló üresjárat teljessítményfelvételét 6,4 kW-ban határoztuk meg.

A kísérleti *eredmények értékelését* minden esetben matematikai statisztikai módszerek segítségével, lineáris regresszió, hatványfüggvény vagy exponenciális függvény illesztésével ellenőriztük, ill. végeztük.

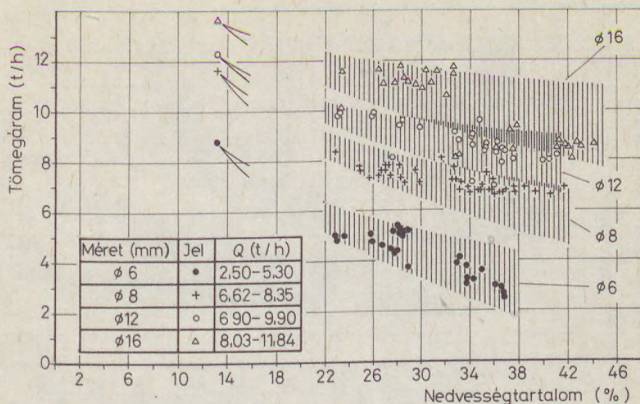
A vizsgálatok eredményei

A nedves szemeskukorica aprításának alapösszefüggéseit feltáró többéves vizsgálatainkat 22,8—44,1% nedvességtartományban folytattuk le. Ez az intervallum felöleli az üzemi gyakorlatban előforduló betakarítási, ill. betárolási szemnedvesség-tartalmakat. A vizsgálati eredmények megbízhatóságát tovább növeli a mérési módszerek azonossága, a mérési sorozatok nagysága, amely összesen 135 mérésből (rostánként 29—43 mérés) állt. Az eredmények összefoglaló jellegű értékeléséhez, és a következtetések levonásához tekintsük át a mérések eredményeit bemutató diagramokat.

a) *A nedvességtartalom befolyása a tömegáram alakulására;*
 $Q=f(w)$

Az 5. ábra diagramja jól szemlélteti, hogy a nedvességtartalom növekedése a tömegáram csökkenését okozza. A csökkenés mértéke a 6 mm átmérőjű rostánál a legszembetűnőbb (5,3 t/h-ról 2,5 t/h-ra), amely meghaladja az 53%-ot. Nagyobb rostaátmé-
rőknél (12 és 16 mm) a tömegáram csökkenése mérsékeltebb, de ott is 31-32% körül alakul.

Ez a diagram *a jelenség okát nem tárja fel*, arra majd a 7. és 10. ábrák összefüggései adnak választ. Ugyanakkor már *előre jelzi*, és következtetni enged arra a fontos körülményre, hogy a nedvességtartalom emelkedésével az aprítás során nagyobb fajlagos felületnövekedéssel kell számolnunk.

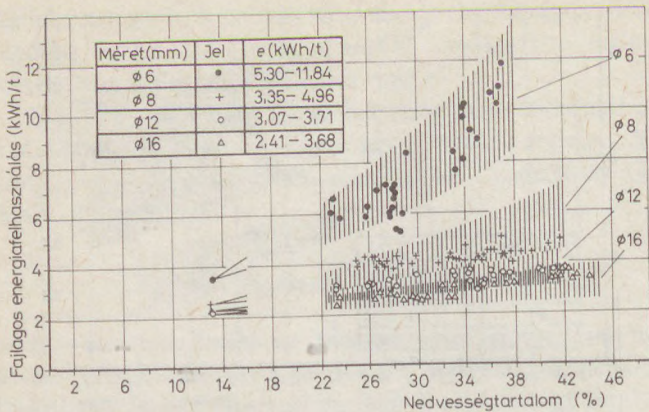


5. ábra. A tömegáram alakulása a nedvességtartalom függvényében

Az 5. ábra diagramjából az is kitűnik, hogy a 6 mm átmérőjű rostánál kb. 37%-ig, a 8 és a 12 mm átmérőjű rostákkal pedig 41-42% nedvességtartalomig terjedtek a mérések, míg a 16 mm-es rostaátmérőnél a nedvességtartalom meghaladta a 44%-ot. Ez a körülmény *közvetve* ugyanarra a tényre utal, hogy aprításnál a magasabb nedvességtartalom nagyobb fajlagos felületnövekedéssel jár együtt. Méréseinknél — azok egységes módszereiből adódóan — ez úgy jelentkezett, hogy az azonos terhelési szintet a felsorolt nedvességhatároknál nem tudtuk biztosítani, mert a rosták eltömődtek.

b) *A nedvességtartalom és a hasznos fajlagos energiafelhasználás kapcsolata; $e_h = f(w)$*

A 6. ábra diagramjának mondanivalója szorosan összefügg az előzőekkel. A darálók közel azonos energiaszintjén a tömegáram (áteresztőképesség) csökkenése mindig a fajlagos energiafelhasználás emelkedésével párosul. A 6 mm-es rostánál tapasztalható a legmeredekebb növekedés, ahol a hasznos fajlagos energiafel-

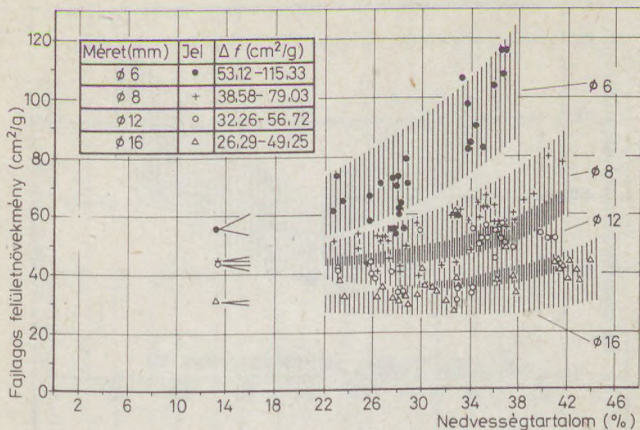


6. ábra. A darálás hasznos fajlagos energiafelhasználásának alakulása

használás 5,30 kWh/t-ról 11,84 kWh/t-ra, tehát több mint kétszeresére emelkedik. A nedvességtartalom emelkedésével exponenciális jelleggel növekvő fajlagos energiaigény a nagyobb rostaméreteknél mérsékeltebb emelkedést mutat, és a 3,07—4,96 kWh/t határok az üzemi gyakorlatot jellemző számértékeket is közrefogják.

c) *A nedvességtartalom hatása az aprítás során létrejött fajlagos felületnövekedésre; $\Delta f = f(w)$*

A nedves szemeskukorica aprításával összefüggő méréseink egyik legfontosabb eredménye a 7. ábrán látható. A vizsgálatok szerint a nedvességtartalom emelkedésével a szemeskukorica aprításánál létrehozott fajlagos felületnövekedés is nagyobb lesz. Ez úgy is megfogalmazható, hogy nagyobb nedvességtartalom mellett — az egyéb körülményeket azonosnak tekintve — a szemeskukorica jobban aprózódik, vagyis abból finomabb daraminőségű, kisebb átlagos szemcseméretű végtermék állítható elő.



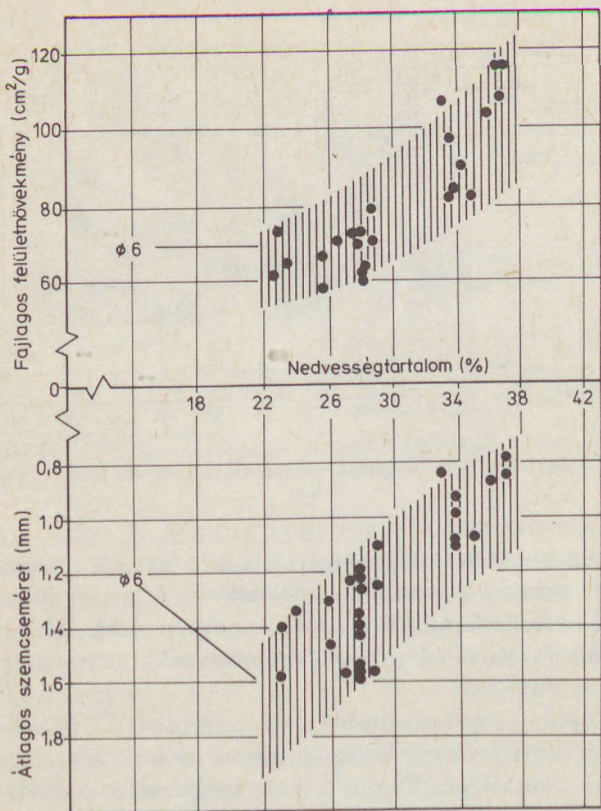
7. ábra. A fajlagos felületnövekmény változása a nedvességtartalom függvényében

Ennek szemléltetésére mutatjuk be a 8. és 9. ábra diagramjait. A 8. ábrán a BM-4-750 jelű darálóval 6 mm-es lyukazatú rostával készített dara átlagos szemcseméretének, ill. fajlagos felületnövekményének jellemzőit ábrázoltuk a nedvességtartalom függvényében.

A 9. ábrán a legelterjedtebben alkalmazott BF-7 típusú darálónál kapott mérési eredmények *azonos tendenciát* mutatnak a 8. ábrán látottakkal. Vagyis a nedvességtartalom növekedésével csökken az átlagos szemcseméret, ami finomabb daraminóséget jelent.

d) *A tömegáram befolyása az aprítás során keletkező fajlagos felületnövekményre; $\Delta f = f(Q)$*

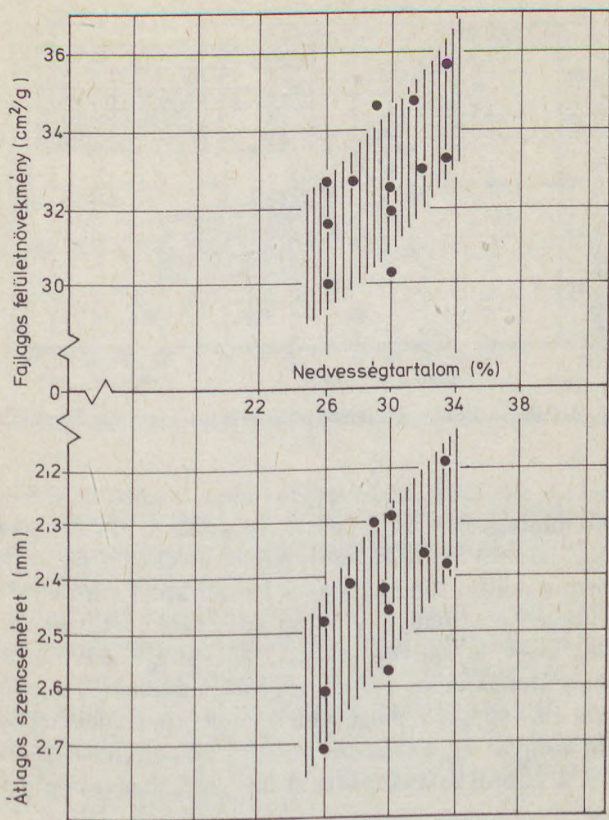
A 10. ábra diagramjain felrajzolt mérési adathalmaz azt igazolja, hogy a nedves szemeskukorica aprításánál hasonló törvényszerűség uralkodik, mint a száraz gabonafélék darálásánál. A magas nedvességtartalom hatása abban nyilvánul meg, hogy a



8. ábra. A nedvességtartalom hatása a fajlagos felületnövekményre és az átlagos szemcseméretre (BM-4-750 típusú daráló)

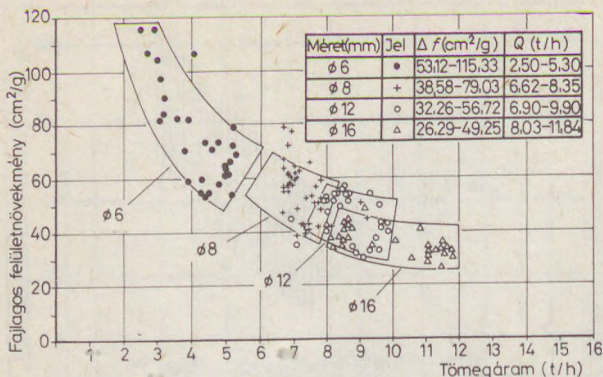
szomszédos rostaátmérők találkozásánál jelentős átfedés tapasztalható a fajlagos felületnövekmény-értékek között.

Ha megfigyeljük, hogy a 6 mm rostaátmérőnél az 5 t/h tömegáram közelében mintegy 55–80 cm²/g fajlagos felületnövekedés jelentkezik, akkor az is látható, hogy ugyanakkora



9. ábra. A nedvességtartalom hatása a fajlagos felületnövekményre és az átlagos szemcseméretre (BF-7 típusú daráló)

fajlagos felületnövekedés érhető el a 8 mm-es rostánál is, kb. 7 t/h átérésztőképesség mellett. Ez a jelenség szoros kapcsolatban van a c) pontban elmondott és a 7. ábrán bemutatott összefüggéssel. Konkrét számadattal kifejezve ez azt jelenti — ugyancsak a 7. ábra segítségével —, hogy a kisebb, 6 mm-es



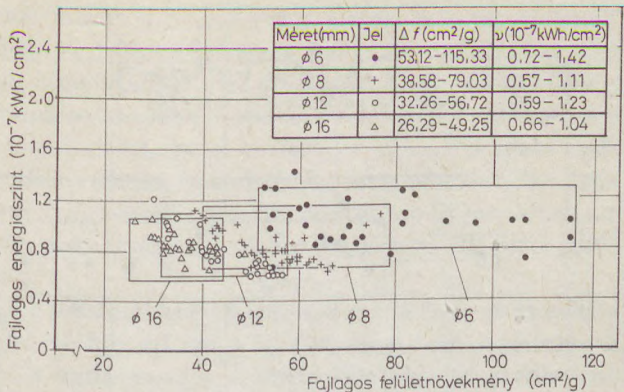
10. ábra. A fajlagos felületnövekmény változása a tömegáram függvényében

rostánál kb. 22—30% nedvességtartalom között, ill. a 8 mm-es rostánál mintegy 34—41% nedvességtartalom között ugyanakkora, kb. 55—80 cm²/g fajlagos felületnövekedés biztosítható, miközben a daráló tömegárama 5 t/h-ról kb. 7 t/h-ra változik.

A mérések eredményei alapján az a végkövetkeztetés vonható le, hogy a nagyon magas, 35—40% nedvességtartományban általában az eggyel nagyobb rostaméret alkalmazásával kb. 15—40%-kal magasabb tömegáram mellett ugyanaz a darafinomság és ugyanakkora fajlagos felületnövekedés érhető el, mint a kisebb rostaátmérővel 22—30% nedvességtartalom között.

e) *A fajlagos energia változása a fajlagos felületnövekedés függvényében; $v = f(\Delta f)$*

Száraz szemestermények aprításából tudjuk, hogy a finomabb szemcseméret, a nagyobb fajlagos felületnövekedés mindig magasabb fajlagos energiaszinttel érhető el. Ez a megállapítás, amint az a 11. ábra diagramjából kitűnik, a nedves szemeskukorica aprításánál is igaznak bizonyult. Száraz gabonafélék aprítá-



11. ábra. A fajlagos energiaszint alakulása a fajlagos felületnövekmény függvényében

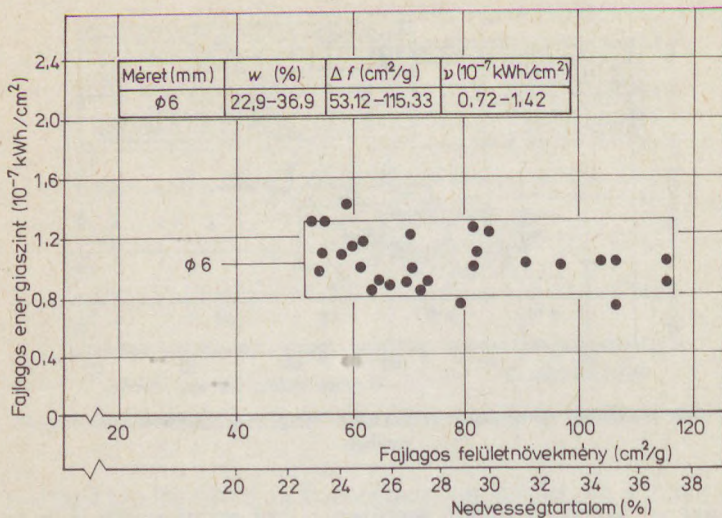
sánál — azonos termény esetében — az egyes rostaátmérők fajlagos energiaszintje között lényegesen nagyobb különbség tapasztalható, mint esetünkben.

A fajlagos energiaszint általában az aprított terményre, az aprítás mértékére és a darálóberendezés konstrukciójára — beleértve a rosta kialakítást is — jellemző érték. A 6 mm-es rostánál, ahol az előállított fajlagos felületnövekmény a legnagyobb, és értékhatára 53,12—115,33 cm²/g, a fajlagos energiaszint 0,72 · 10⁻⁷—1,42 · 10⁻⁷ kWh/cm² között található, és átlagértéke 1,07 · 10⁻⁷ kWh/cm².

Növekvő rostaátmérőknél, ahol a létrehozott fajlagos felületnövekmény kisebb, a fajlagos energiaszint fokozatosan csökken, és az átlagértékek 0,84 · 10⁻⁷—0,88 · 10⁻⁷ kWh/cm²-rel jellemezhetők, jelentős átfedések és nagy szórások mellett.

A BF-7 típusú darálóknál az üzemi gyakorlatban előforduló 31,5—42,0 cm²/g fajlagos felületnövekedés 1,12 · 10⁻⁷—1,127 · 10⁻⁷ kWh/cm² energiaszinttel biztosítható.

A vizsgálati eredmények alapján kimondhatjuk, hogy a nedves szemeskukorica darálásánál, egy adott rostaméret mellett a



12. ábra. A fajlagos energiaszint alakulása a nedvességtartalom és a felületnövekmény függvényében

létrehozott fajlagos felületnövekedés-határok között az aprítás fajlagos energiaszintje gyakorlatilag állandónak tekinthető.

A jobb szemléltetés kedvéért a 12. ábrán egyrészt kiemeltük a 6 mm-es lyukazatú rostánál kapott mérési pontokat, másrészt független változóként szerepeltettük még a nedvességtartalmat is. Ez lehetővé teszi azon következtetés levonását is, hogy daráláskor a fajlagos energiaszint gyakorlatilag állandónak tekinthető, és nem függ a nedvességtartalomtól és a fajlagos felületnövekménytől.

Ez a kísérletsorozat lehetőséget ad, de egyúttal szükségessé is teszi, hogy a 11. ábra eredményeit a *Rittinger*- és *Bond*-féle *aprítási törvények* tükrében elemezzük. Mint már szóltunk róla, száraz szemestermények aprításánál a különböző méretű rosták energiaszintje igen lényeges eltérést mutat. A szomszédos rosta-

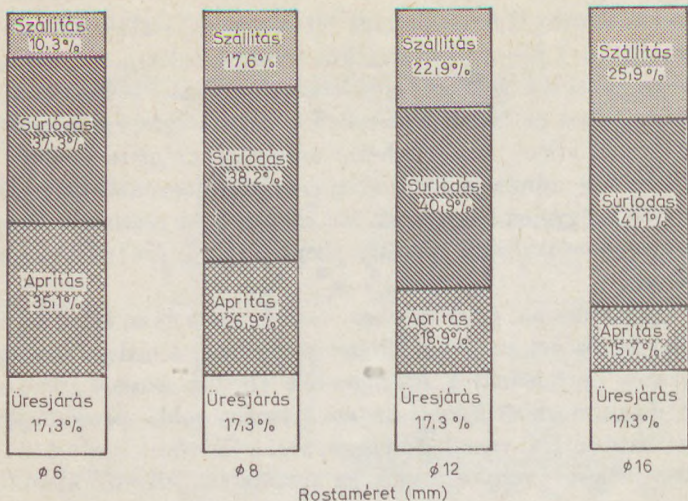
méretek között 1,5—2,5-szeres eltérés is tapasztalható. Esetünkben ez 1,05—1,21-szeres különbséget takar, ami sokkal jobban közelíti a *Rittinger*-elméletet. Nagy különbségek esetén a kutatók azt az indokot hozzák fel, hogy a *Rittinger*-tételnek nem mond ellent, ha a kohézió energiaszükséglete mellett a deformációs munka és a súrlódási energiafelhasználás korrigáló szerepét is figyelembe vesszük. Sőt többen ilyen esetben a *Bond*-féle energiaszükségleti törvény jelenlétére, ill. érvényesülésére utalnak.

Úgy gondolom, hogy méréseink eredménye és az előző fejtegetés lehetőségét ad arra a feltételezésre, hogy a nedves szemeskukorica aprításánál a *Rittinger*-féle elmélet azonos energiaszintjének megközelítése a nedves termény jobb aprózódására (apríthatóságára) vezethető vissza, ami a *Charles*-féle $n = 2$ kitevőben juthat érvényre, amely az aprózódást jellemző állandó.

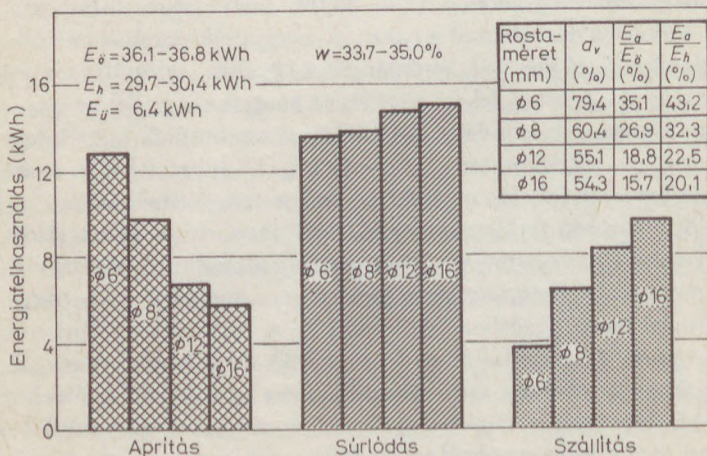
f) *A darálási energia megoszlása*

A megközelítőleg azonos 33,7—35,0% nedvességtartalmú szemeskukorica darálásánál a hasznos energiafelhasználás megoszlására irányuló mérések eredményét a 13. ábra oszlopdiagramjai ábrázolják. Az ábra felső részében az energiahányadok megoszlása, alul azok számadatai találhatók. Szembetűnő, hogy a legnagyobb energiahányadot 37,3—41,1% (13,4—15,0 kWh) a *súrlódás* emészti fel. Ez a darálótérben a fém-terményréteg-fém közötti súrlódó felületek megközelítő azonossága miatt adott nedvességtartalom mellett gyakorlatilag állandónak tekinthető.

Az *aprítási energiagény* a méréseknek megfelelően, a rostamérettel összefüggésben 15,7—35,1%-ot (6,1—13,1 kWh) igényel az összes energiából, és 20,1—43,2%-ot a hasznos energiából. Ezek az értékek arányban állnak az aprítás során létrehozott fajlagos felületnövekedés viszonyával és a rosták vakfelületével (a 6 mm-es rostánál ez 79,4%).



13. ábra. A nedves szemeskukorica darálásának energiamegoszlása



14. ábra. A nedves szemeskukorica darálásának energiafelhasználása

A szállítási energiafelhasználás mindig a daráló tömegáramával van arányban, ebből adódóan nagysága a rostamérettől függően 3,8—9,3 kWh, ami 10,3—25,9%-ot igényel az összes energiából.

Összességében megállapíthatjuk, hogy azonos nedvességtartalomnál a súrlódás energiaigénye, a rostaméretektől alig függően közel állandónak mondható (14. ábra). Az aprításra fordított energiát — amely a rostamérettel szoros összefüggésben van — általában a szállítási energiahányad kompenzálja. Nagy rostaméretnél, alacsony aprítási energiahányad mellett, a nagyobb tömegáram miatt a szállítási energiaigény megnő.

Általánosságban arra a következtetésre juthatunk, hogy növekvő nedvességtartalom esetén nagyobb a súrlódási energiaigény, és a termény jobb apríthatóságából adódóan az aprítás energiafelhasználása mérséklődik, és csökken a szállítási energiaszükséglet is.

3.2. A nedvesszemeskukorica-zúzalék tömörítése és sűrűsége

A probléma felvetése

A nedvesszemeskukorica-zúzalék erjesztéses tartósításánál a tömörítésnek meghatározó a szerepe, mert közvetlen kihatással van annak minőségére. Másfelől a terítés-tömörítés műveletének fajlagos energiaigénye — megközelítőleg megegyezik a darálás energiafelhasználásával — a technológiai folyamat 18—20%-át teszi ki.

Horizontál silókban az erjesztett zúzalék tárolási sűrűségét mint végeredményt jól ismerjük. Ugyanakkor a tömörítési folyamat során a különböző tényezők változásának vagy változtatásának hatása csak általánosságban nyert eddig megfogalmazást. Ezen körülményekből adódóan feltétlen indokoltnak

látszik a folyamat műszaki-technológiai alapösszefüggéseinek a meghatározása, amely magában foglalja a nedvesszemeskukorica-zúzalék fizikai jellemzőinek (nedvességtartalom, szemcseméret) és a tömörítő nyomásnak, valamint a terhelési számnak a sűrűsége gyakorolt hatását. A technológiai folyamat összetettsége, és a ható tényezők széles értéktartománya indokolja, hogy a vizsgálatokat szétválasszuk.

E feladat megoldásához a következő összefüggések megállapítását tűztük ki célul:

- a) a vizsgálatok kiindulási jellemzőinek behatárolása; Q_0 ; Q_{00} ; p ,
- b) a tömörítő nyomás és a terhelési szám hatása a sűrűsége; $Q = f(p; n)$,
- c) a nedvességtartalom befolyása a sűrűsége; $Q = f(w)$,
- d) a szemcseméret és a sűrűség összefüggése; $Q = f(d_{\text{átl}})$.

A vizsgálatok módszere

Az alkalmazott mérőberendezések és módszerek

Az általunk definiált ömlesztett sűrűség (Q_{00}) és a rázott sűrűség (Q_0) — amelyet már a szemcsék bizonyos mértékű rendezettsége jellemez — mérésére egy 20 dm³ térfogatú, 2 × 2 dm² alapterületű és 5 dm magasságú faedényt használtunk.

— *Az ömlesztett sűrűség meghatározásának menete:* A 20 dm³-es edényt feltöltöttük szabad anyag hullatással addig, amíg az edény tetején kialakult a lehető legnagyobb magasságú anyagkúp. Ezután vonalzó élével az anyagkúp edény feletti részét eltávolítottuk, majd az edény üres tömegére kitárazott mérleggel mértük az anyag tiszta tömegét. A zúzalék tömegének és az edény térfogatának hányadosa adja az ömlesztett sűrűség (Q_{00}) értékét.

— *Rázott sűrűség* meghatározásának mérési módszerei: A 20 dm³-es edényt feltöltöttük szabad anyag hullatással addig, amíg az edény tetején kialakult a lehető legnagyobb magasságú anyagkúp. Ekkor 15 cm magasságból az edényt 5-ször a földre ejtettük. Újból feltöltöttük az anyagkúpot, és ekkor az oldalfal háromszori ütögetésével tömörítettük, majd vonalzó élével az edény feletti anyagot eltávolítottuk. Tolósúlyos mérleggel mértük az anyag nettó tömegét. A zúzalék tömegének és az edény térfogatának hányadosa adja a rázott sűrűség (ρ_0) értékét.

A *kiindulási nyomásértékek* (60; 112; 260 és 300 kPa) meghatározását és annak mérőeszközeit — a falnyomás mérésnél — a 3.3. fejezetben ismertetem.

A *tömörítési kísérletek* során a tömörítő nyomás és terhelési szám sűrűsége gyakorolt hatását műszeregyüttessel mértük, laboratóriumi körülmények között. A vizsgálat során lassú statikus terhelést alkalmaztunk, ahol a terhelést 30—30 s időtartammal és 150—150 s megszakításokkal ismételtük.

A vizsgálatok jellemzői

- nyomás értékek: 60; 112; 260; 300 kPa,
- terhelési szám: 1—11-ig,
- mérési sorozat: 8×4 .

A zúzalék kiindulási jellemzői

- nedvességtartomány: 29,8—33,4%,
- átlagos szemcseméret: 1,11—1,31 mm,
- ömlesztett sűrűség: 415—487 kg/m³.

A mérés jellemzői

- mérések száma: 7×5 ,
- nyomásérték: 60 kPa (állandó),

- előtömörített sűrűség: 801—920 kg/m³,
- nedvességtartalom: 23,8—35,9%,
- rostaméreték: 6, 8, 12, 16 mm és rosta nélkül (RN).

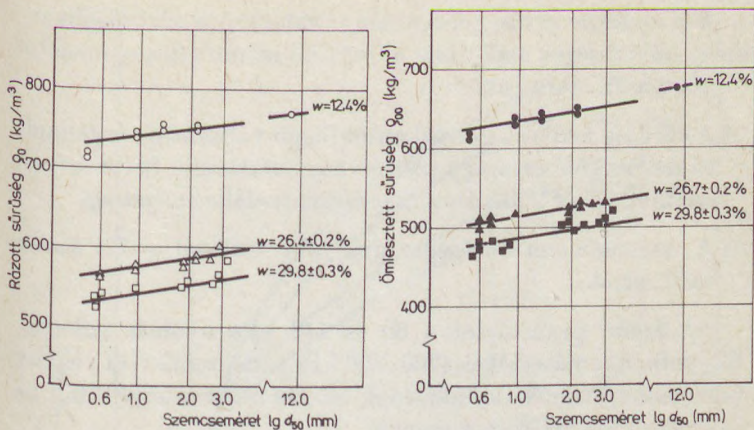
Az értékelés módszere

A mérési adatok feldolgozására általában Commodore-64, ill. HP-71 B személyi számítógépet alkalmaztunk. Az értékelésnél másodfokú polinomot, hatványfüggvényt vagy exponenciális egyenleteket illesztettünk, és elvégeztük azok ellenőrzését is.

A vizsgálatok eredménye

A tömörítési kísérletekről általánosságban elmondható, hogy a mérési sorozatok nagysága alapot ad az összefüggések megbízható megfogalmazására. Az értékelésnél és a következtetések levonásánál kövessük a vizsgálati célkitűzéseket, és az eredmények ismertetésének sorrendjét, valamint betűjelölését.

- a) A nedvesszemeskukorica-zúzalék sűrűségjellemzőinek számszerű ismerete és a befolyásoló tényezők (nedvességtartalom, szemcseméret) egzakt meghatározása jól szolgálja a tömörítési művelet műszaki-technológiai alapösszefüggéseinek feltárását. A 15. ábra kettős diagramján együtt rajzoltuk fel az ömlesztett (laza), ill. a rázott sűrűség változását a szemcseméret függvényében. Az adott mérési módszerek alkalmazásával, a technológiára általánosan jellemző $w = 29,8 \pm 0,3\%$ nedvességtartalom mellett 0,61—2,98 mm szemcseméret-tartományban az ömlesztett sűrűség 455—525 kg/m³ között, a rázott sűrűség 517—605 kg/m³ között változik. A rázott sűrűség növekedése 10,7—16,5%-kal haladja meg az ömlesztett sűrűség értékét, ami átlagosan 12,8% sűrűség-növekményt jelent.
- b) A nedvesszemeskukorica-zúzalék tömörítési műveleténél a tömörítő traktor kereke által átadott nyomásérték mellett a



15. ábra. A szemeskukorica-zúzalék rázott és ömlesztett sűrűsége

terhelés gyakorisága, a terhelési szám a meghatározó. Méréseinknél azokat a nyomásértékeket vettük alapul, amelyeket üzemi körülmények között (részletesen a 3.3. fejezetben tárgyalom) regisztráltunk a 35—50 cm vastagságú takarmányréteg tömörítésénél.

A sűrűségméréseknél a terhelési szám maximumát $n = 11$ -ben jelöltük meg, mert mint látni fogjuk, e fölött a sűrűség csak nagyon kis mértékben növekszik. A mérési eredmények jobb áttekinthetősége és értékelhetősége végett, külön diagramokon tüntetjük fel az $n = 6$ terhelési számig kapott értékeket, mivel éppen e kísérletek bizonyítják, hogy a célszerű terhelési szám ennél nem nagyobb. Az $n = 11$, illetve az $n = 6$ terhelési számig — az adott nyomásértékek mellett — kapott mérési eredményeket a 16. ábra, illetve a 17. ábra diagramjai ábrázolják.

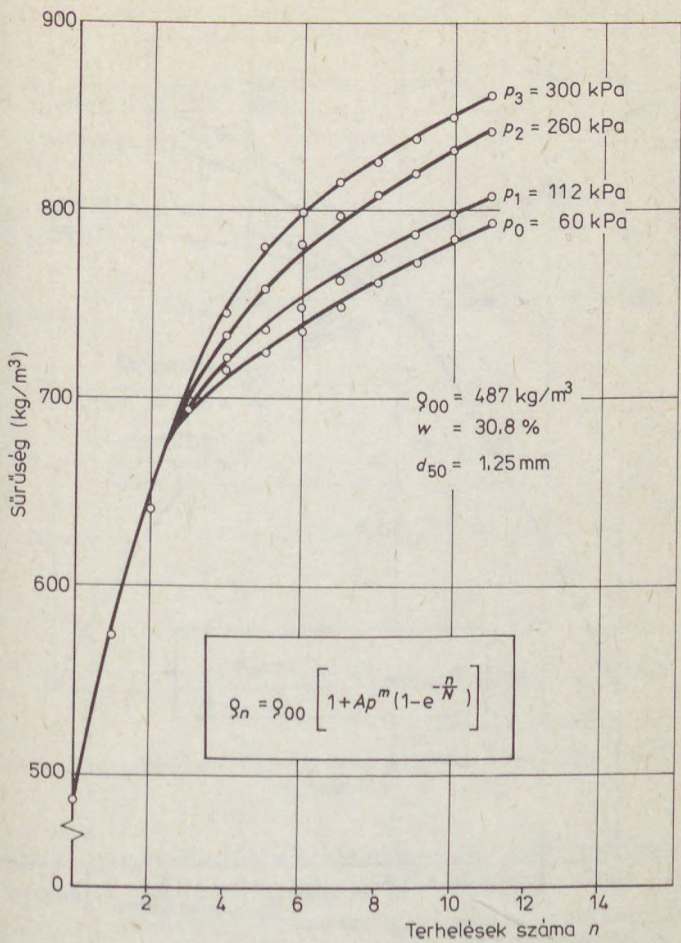
A százalékos sűrűségnövekmény, valamint a sűrűségnövekmény különbségek alakulását a terhelési számtól és a nyomástól függően a 18. ábra ismerteti.

- c) A sűrűség nedvességtartalomtól függő változását megállapító mérésekből csak egy szemelvényt mutatunk be. A mérési eredményeket a 19. ábra diagramja foglalja magában.
- d) A szemcseméret sűrűsége gyakorolt hatását a 20. ábrán találhatjuk.

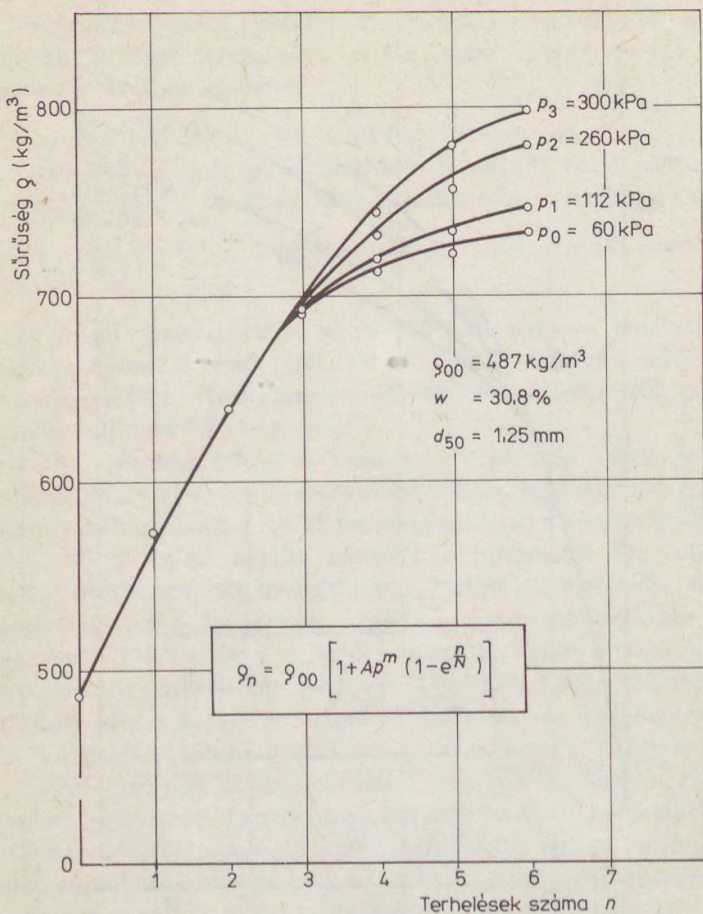
Az üzemi gyakorlatot a 60 és 112 kPa nyomás jellemzi. Nagyobb nyomásértékek (260, 300 kPa) csak rendkívül vékony takarmányrétegnél fordulhatnak elő, és ezért inkább csak az összehasonlításnál van szerepük.

A 16. ábra és a 17. ábra hasonlóan a sűrűség változását mutatja, de $n = 11$ és $n = 6$ terhelési szám összefüggésében. A 16. ábrán rajzolt görbénél $n = 11$ terhelési számnál a sűrűségérték 793,6—861,2 kg/m³ között változik a nyomástól függően. Ezek az adatok magukban foglalják a 17. ábra jellemzőit is, ahol a görbéket $n = 6$ -ig ábráztuk. Ennél a terhelési szintnél a sűrűség határok 735,2—798,8 kg/m³-t mutatnak. Tehát a terhelési szám jelentős növelése ($n = 6$ -ról $n = 11$ -re) 10% körüli sűrűségváltozást idéz csak elő. A megadott matematikai összefüggés, amely a 16. és 17. ábrák görbéit írja le, arra enged következtetni, hogy a célszerű tömörítési szám legfeljebb 5 legyen. Ha azonban figyelembe vesszük, hogy a traktorok hátsó kerekeinek járulékos tömörítő hatása (15—20%-kal) kisebb, úgy az optimálisnak mondható terhelési szám $n = 6$. Ez az üzemi gyakorlatban azt eredményezi, hogy nagy tárolótelepeken, ahol külön terítő traktort is alkalmazni kell — a terítő traktornak egyszer ($n = 2$), és a tömörítő traktornak további kétszer ($n = 4$) kell azonos nyomon végighaladnia.

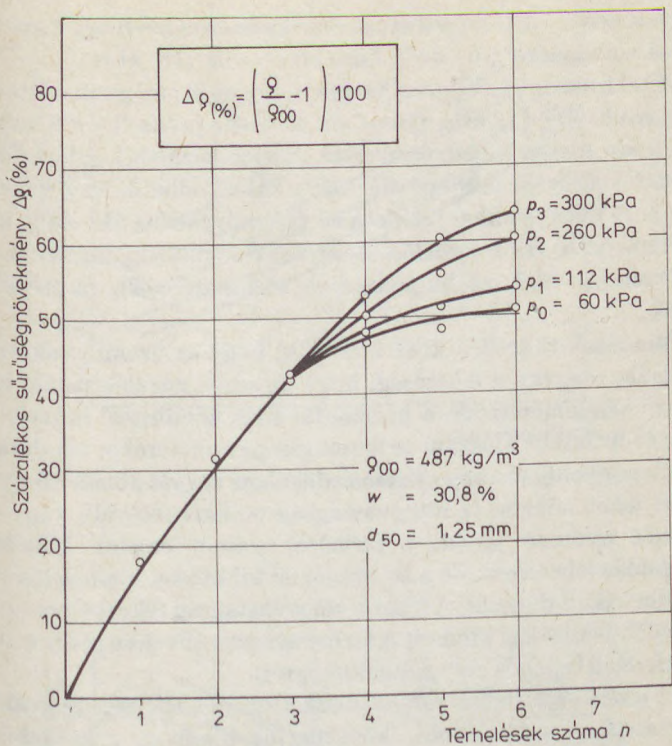
Méréseink következtetni engednek a *kerekes és lánctalpas traktorok* tömörítő hatásának összevetésére is. Ezek szerint nagy



16. ábra. A sűrűség változása a terhelések számának függvényében ($n = 11$)



17. ábra. A sűrűség változása a terhelések számának függvényében ($n=6$)



18. ábra. A százalékos sűrűsége növekmény alakulása a terhelések számának függvényében

rétegvastagságoknál, ahol a nehéz univerzális traktorok tömörítő nyomása nem haladja meg az 50–60 kPa-t — amely a lánctalpas traktorokra jellemző érték —, a hosszabb tömörítési időtartam miatt a lánctalpas traktorok jobb tömörítő munkát végezhetnek.

A tömörítés kezdetén a sűrűség százalékos növekedése nagyobb, és $n=2$ esetében meghaladja a 30%-ot. A kezdeti szakaszban a tömörítő nyomásértékek különbségének hatása nem

mutatható ki. A terhelési szám emelkedésével $n = 6$ -nál a százalékos növekmény 51—64% közé emelkedik (18. ábra).

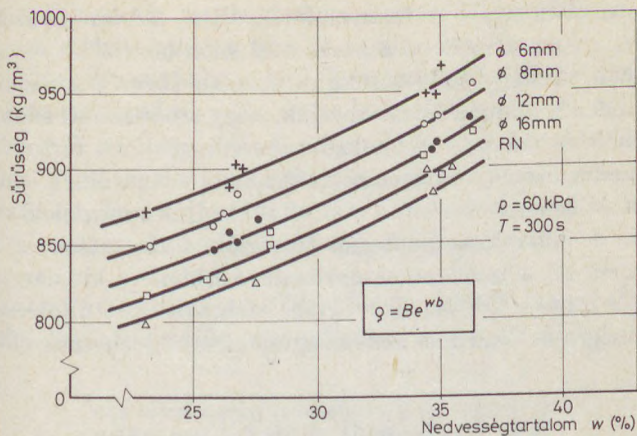
Általánosságban kimondhatjuk, hogy az üzemi gyakorlatban előforduló 60—112 kPa nyomások mellett a javasolt $n = 6$ terhelési szám esetén a nedvesszemeskukorica-zúzalék kezdeti (ömlesztett) sűrűsége mintegy 50—55%-kal növelhető. Az $n = 6$ -nál az adott nyomásokkal elérhető sűrűség-növekedés 51—64% között várható. Ha a terhelési számot 5-re csökkentjük, akkor ez az érték 48—60%-ra, ha pedig 4-re, akkor 46—53%-ra mérséklődik.

Mindezek tükrében kijelenthetjük, hogy az üzemi gyakorlat számára megvan a lehetőség, hogy az adott zúzalék fizikai jellemzőinek ismeretében a horizontál silók tömörítési műveletéhez az optimális műszaki-technológiai paramétereket alkalmazza. A nagyobb sűrűség elérése érdekében vagy a tömörítő nyomást lehet növelni (a rétegvastagság csökkentésével), vagy az azonos nyomon járást, a terhelési számot emelni. Mindkét megoldás lehetséges, de a technológiai kihatások mérlegelésével célszerű csak dönteni. A kisebb rétegvastagság fékezi a horizontál silók betárolási ütemét. A terhelési szám növelése pedig emeli a művelet fajlagos energiaszükségletét.

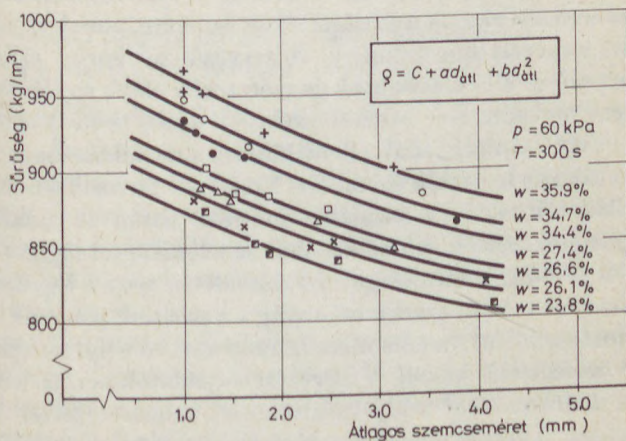
A nedvességtartalom változásának a zúzalék sűrűségére gyakorolt hatását a 19. ábrán követhetjük nyomon, a különböző rostamérettel előállított (szemcseméretű) takarmánynál.

A zúzalék sűrűsége, az adott vizsgálati jellemzők mellett és 23,8—35,9% nedvességtartalom között exponenciális jelleggel változik. Növekvő nedvességtartalom mellett a tömöríthetőség mértéke javul, és növekszik a zúzalék sűrűsége 801,9—966,7 kg/m³ értékhatáron belül.

A szemcseméret szerepéről a 20. ábra diagramjai adnak felvilágosítást. Azonos nedvességtartalom esetén a szemcseméret csökkenésével a zúzalék sűrűsége emelkedik. Az összefüggést másodfokú egyenlet fejezi ki. A laboratóriumi kísérletek során kapott sűrűségértékek, amint látjuk, jól illeszkednek az üzemi



19. ábra. A sűrűség változása a nedvességtartalom függvényében



20. ábra. A sűrűség alakulása az átlagos szemcseméret függvényében

gyakorlatban leggyakrabban előforduló 1,0—2,5 mm-es átlagos szemcseméreték mellett, a horizontál silók legfelsőbb rétegére jellemző, mintegy 850—950 kg/m³ tárolási sűrűség adatokhoz.

Mindezek alapján kijelenthetjük, hogy a horizontál silókban a tömörítés műszaki-technológiai összefüggéseinek birtokában és a nedvesszemeskukorica-zúzalék fizikai jellemzőinek ismeretében, az üzemeltetés során biztosítani tudjuk a megfelelő sűrűséget. A műszaki-technológiai tényezők változtatásával módunkban áll a mindenkori optimális körülmény kiválasztása, vagy esetleges korrekciók végrehajtása, amelyet általában a szélsőséges betakarítási nedvességtartalmak idézhetnek elő.

3.3. Horizontál silók falnyomása a zúzalék tömörítésénél

A probléma felvetése

Horizontál silók támfalainak szilárdsági méretezésénél, a dinamikus terhelés okozta nyomásértékek ismerete, annak eloszlása fontos tervezési követelmény. A tervezői gyakorlat számára rendelkezésre álló alapadatok és méretezési elvek egyéb takarmánynövényekre (szecskezett szálasanyagok, teljes kukoricánövény stb.) vonatkoznak, ill. nélkülözik a megoldáshoz szükséges fontosabb tényezők ismeretét. Ezek közé tartozik a horizontál silók töltésénél, a zúzalék tömörítése során az oldalfalon fellépő nyomásérték és annak a halmazmagasságtól függő változása. A probléma fontosságát tovább növeli, hogy a legelterjedtebben alkalmazott szerkezeti anyag a vasbeton; nemcsak előre gyártott elemként, hanem monolit rendszerben helyi tervezéssel és kivitelezéssel is készül. A tervezési alapadatok pontos ismeretének hiánya, mint tudjuk, általában túlméretezéssel kerül feloldásra. A kérdés megválaszolására indított üzemi vizsgálataink a következő célt tűzték ki:

- a) a falnyomás meghatározása horizontál silókban, a nedvesszemeskukorica-zúzalék tömörítésénél;
- b) a takarmányhalmaz terhelt és terheletlen állapotának tanulmányozása.

Mérési módszerek

A vizsgálatok helye és ideje

Az üzemi vizsgálatokat a Törökszentmiklósi Á. G. 12 000 t-s tárolótelepén végeztük, három betárolási idényben.

Az alkalmazott berendezések és műszerek

A nyomásméréseket a Gazdaság H szelvényű, saját tervezésű és kivitelezésű, $12 \times 3,6 \times 40$ m méretű három oldalfallal határolt betonszerkezetű tárolójában folytattuk le.

A tömörítést minden évben K-701 négykerékajtású traktorral végeztük, amelynél

- az első tengely terhelés 9000 kg (ET),
- a hátsó tengely terhelés 4400 kg (HT).

A méréseknél a kerékbalon széle a faltól 0,5 m-re helyezkedett el, így a fenéklapon a faltól 0,8 m-re lévő nyomásérzékelő (V_1) a kerék szimmetriatengelye alatt volt beépítve. A nedves szemzúzalék tömörítése alkalmával, majd az azt követő tartós tárolás folyamán az oldalfalra, valamint a fenéklemezre ható nyomásértékek meghatározását változó terhelési viszonyok mellett hajtottuk végre.

A mérések során a tömörítéskor mind a terhelt, mind pedig a terheletlen állapotot rögzítettük. 1983-ban a tömörítés befejezésével kialakuló nyugalmi állapotban ébredő nyomásviszonyok regisztrálását is elvégeztük.

Az eredmények értékelése, következtetések

a) A silótér fenéklapjára beépített nyomásérzékelő segítségével, a töltés kezdetén lehetőség volt a kb. 40—50 cm rétegvastagságú halmazra *ható nyomásértékek* meghatározására. A maximális rétegvastagságnál 35—38 kPa-t, míg a már tömörített zúzaléknál — egy-két centiméteres rétegvastagság esetén — a traktor újabb áthaladásánál maximálisan 144—153 kPa-t regisztráltunk.

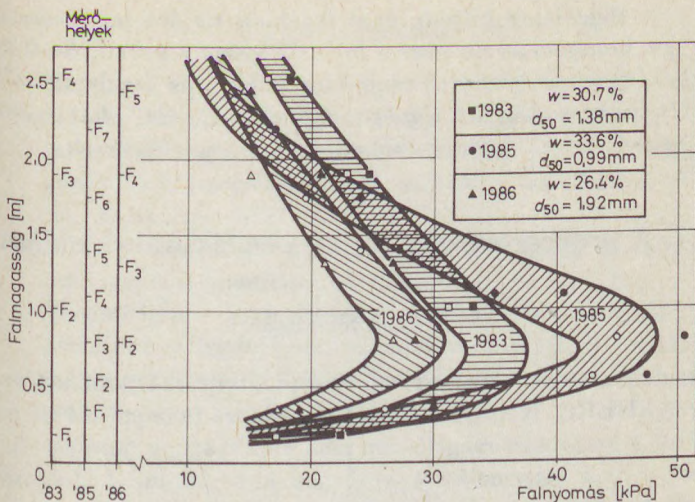
Szólnunk kell arról, hogy itt már szembetaláltuk magunkat egy bonyolult reológiai jelenséggel, amelynek vizsgálatára ezen munkák során nem vállalkozhattunk.

Megfigyelhető volt, hogy a traktor haladásával egy tömörödési hullám jár együtt, amelyet a felső rétegben jól érzékelhető kúszás, ill. kirugózás követ. Ez a folyamat nagyobb halmazmagasságok esetén is jellemzi a mindenkori felső rétegben lejátszódó tömörítést.

Nagyobb halmazmagasságoknál a fenéklapra ható nyomás nagyságát a tömörítő traktor már kevésbé befolyásolja, mert a relatív mélység növekedésével erőteljes nyomáscsökkenés tapasztalható. Ebben az esetben a halmazmagasságból adódó nyomásviszony a meghatározó. Terhelt állapotban 1,5—1,7 m halmazmagasságnál 42—53 kPa, 2,0—2,2 m esetén 58—74 kPa, és 3,0—3,6 m-nél 78—91 kPa fenéknyomást tapasztaltunk.

b) A falnyomásváltozás sokkal szemléletesebb módon nyilvánul meg a 21. ábra görbeseregének segítségével, ahol az 1983., 1985. és 1986. években mért adatok együtt szerepelnek. Egy-egy adott év méréseit határoló görbék az első tengely (*ET*) és a hátsó tengely (*HT*) terheléséből adódnak.

Ezen mérések eredményeiből általánosságban megállapíthatjuk, hogy a horizontál silóknál a zúzalék tömörítése során fellépő maximális falnyomás 35—50 kPa értékhatárok között fordul elő, és az a 0,7—0,9 m-es halmazmagasság-réteg-



21. ábra. A falnyomás alakulása a tömörítés alatt

ben jelentkeznek. A legalsó rétegekben a fenéklap okozta sűrűsödés a falnyomást fokozatosan nullára csökkenti.

A három esztendőben kapott vizsgálati adatok arról is tanúskodnak, hogy a falnyomás alakulásában a zúzalék fizikai jellemzőinek is szerepe van. Ha azonos tömörítési körülményt (nyomás, terhelési szám és idő) tételezünk fel, akkor a nagyobb nedvességtartalmú és kisebb szemcseméretű zúzalék esetében nagyobb falnyomással számolhatunk.

- c) A horizontál silókban a nedvesszemeskukorica-zúzalék tömörítésénél az alkalmazott traktor első (ET) és hátsó tengely (HT) terheléséből adódó nyomáskülönbségeket is meghatároztuk. A hátsó (HT) és első tengely (ET) terheléséből kapott nyomásértékek hányadosa az oldalnyomás vonatkozásában 0,82—0,86 között változott.

A függőleges irányú, és a fenéklap síkjára merőlegesen ható komponens esetében a $HT : ET$ viszonyszám 0,76—0,89 határértékek között fordult elő. Ez úgy is fogalmazható, hogy a hátsó kerekek tömörítő nyomása 11—24%-kal kisebb az első tengely terheléséből adódó nyomásértékeknek.

3.4. A nedvesszemeskukorica-zúzalék frakcionálása

A téma felvetése

A nedves szemeskukorica tartósítására létesített különféle típusú (NEUERO, KN-6,7, FUNKI stb.) hazai *toronytároló telepeinken*, a betárolást megelőzően nem alkalmaznak darálást, hanem a napi kitermelést követően a keverőüzemi feldolgozás során kerül arra sor. Ugyanakkor a betárolásnál a dobóventilátorok lapátkerekei és a kitermelésnél maga az ürítőberendezés is jelentős törő-aprító hatást fejtenek ki, aminek következtében a nedves szemeskukorica 30—35%-át a 2 mm-nél kisebb szemcseméret jellemzi. Az alkalmazott technológiáknál ez a halmazmennyiség is rákerül a darálóra, ahol nem csak többlet energiafelhasználást és áteresztőképesség-csökkenést okoz, hanem emellett majdnem megduplázza — kb. 15%-ról 25—28%-ra — a 0,3 mm szemcseméret alatti, nem kívánatosnak mondott *lisztfrakció* mennyiségét is. A másik probléma a *horizontál silók-nál* alkalmazott daráló munkaminőségéből adódik, ahol az aprítás során kapott halmazban a 2 mm-nél nagyobb szemcseméret 35—48%-ban, a 4 mm-nél nagyobb szemcseméret pedig általában 15—25%-ban fordul elő. Különösen a 4 mm-nél nagyobb szemcseméret jelenthet gondot, például a csővezetékes takarmánykiosztási rendszereknél, de ez a takarmányértékesülést illetően is kedvezőtlennek mondható.

A kutatás-fejlesztés célja

- a) Az elmondott indokok alapján olyan kísérleti *berendezések kialakítását* tűztük ki célul, amely a takarmánykeverő üzem technológiai gépsorába illesztve elvégzi a szemeskukorica-zúzalék szemcseméret szerinti szétválasztását, a megadott 2 mm-es határértéknél.
- b) A berendezés műszaki és munkaminőségi jellemzőinek megállapítása; elvi összefüggések tisztázása.
- c) Technológiai jellegű vizsgálatok lefolytatása az üzemi gyakorlatban előforduló, azt jellemző szemcseméretű szemeskukorica-zúzalékok frakcionálásánál és további feldolgozásánál.

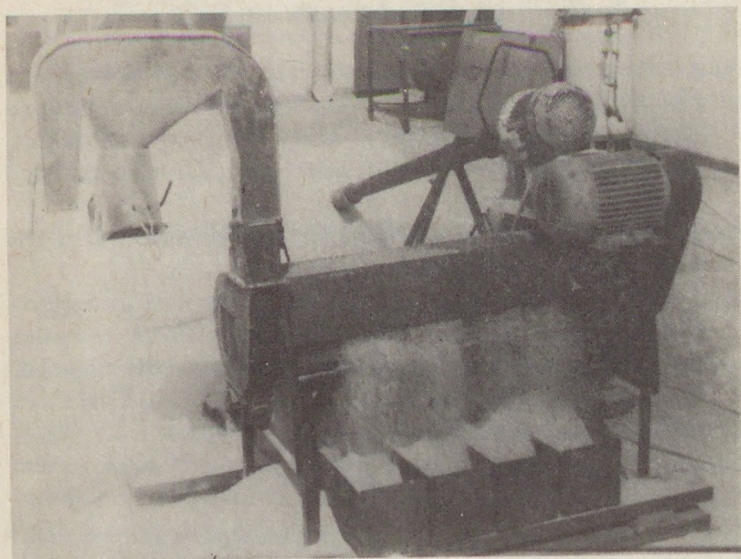
Módszerek

A kísérleti berendezés (22. ábra) lapátos csigából álló rotorját 3 kW teljesítményű villanymotor hajtja, 360 fordulaton 6 m/s kerületi sebességgel. A 315 mm átmérőjű és 800 mm hosszú hengeres rostapalást 2×30 mm-es nyílásméretekkkel és 23,4% aktív felületarányal rendelkezik. A lapátos csiga által továbbított zúzalékból a 2 mm alatti hányad áthullik a rostanyíláson, a durva frakció pedig a belső térben végighaladva kijut a berendezésből.

A vizsgálatok során a berendezés áteresztőképessége 1,9—2,7 t/h között változott, 0,47—0,60 kWh/t fajlagos energiaszükséglet mellett.

A frakcionálás helye a technológiában

A szemeskukorica-zúzalék méret szerinti szétválasztására a takarmánykeverő üzemből a darálást megelőzően kerülhet sor. A frakcionáló berendezésből a durva frakció a darálóba jut, a 2 mm-nél kisebb szemcseméretű finom frakció — a darálót kike-



22. ábra. Az állórostás kísérleti frakcionáló berendezés

rülve — közvetlenül a keverőberendezés puffertartályába továbbítható. Itt ismét találkozik a két anyagáram.

Fogalommeghatározás: a 2 mm-nél kisebb szemcseméretű zúzalékalmaz *finom* frakciónak, az annál nagyobb *durva* frakciónak nevezhető.

A vizsgálatok helye és módszere

A laboratóriumi és üzemi vizsgálatokat 1986—87-ben a MÉM-MI Szárítás-Tárolás Gépesítése Osztály Laboratóriumában, továbbá a Jászteleki Tolbuchin Mgtsz-ben és a Törökszentmiklósi Á. G.-ban folytattuk le.

További két helyről (Agárdi Mezőgazdasági Kombinát, Nyírtelek Dózsa Mgtsz) megfelelő mennyiségű alapanyag beszerzé-

sével a MÉMMI-ben történtek a mérések. A méréseknél a frakcionálásra és az utódarálásra mindig *ugyanazon berendezéseket* alkalmaztuk.

Az eredmények bemutatására szolgáló módszerként az MSZ 15474-80 sz. szabvány szerint előírt szemcseméret-eloszlási diagramokat alkalmaztuk. A könnyebb áttekinthetőség miatt először mindig az *alapanyag* és a két frakció diagramját, majd utána együtt az *alapanyag* és a *végtermék* szemcseméret-eloszlási görbéit adjuk meg, segítve ezzel a közvetlen összehasonlítást.

A berendezés *működési elvével* kapcsolatban, annak munkaminőségére jellemző legfontosabb összefüggéseket regressziós egyenletek segítségével fogalmaztuk meg.

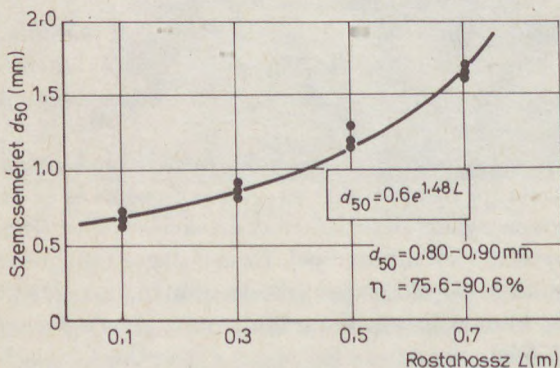
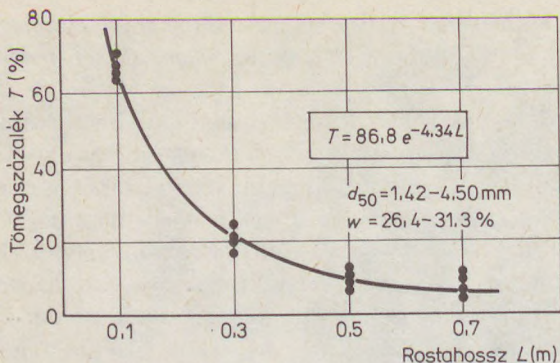
A *technológiai műveletek* műszaki-energetikai és munkaminőségi jellemzőin túl, vizsgáltuk az utódarálás és keverés után kapott *végtermék* energiaráfordítását és a szemcseméret alakulását is.

Az utódarálás mindig a BM-750-4 típusú berendezéssel és egy 12 mm átmérőjű rostával történt. A frakcionálás és az utódarálás fajlagos energiafelhasználásának értékelésekor az *összehasonlítás alapjául* 3,5 kWh/t szerepel. Ez az átlagos fajlagos energiaigény a darálásnál akkor jelentkezik, amikor a teljes zúzalék-mennyiség keresztül megy a darálón, ami a jelenlegi üzemi gyakorlatnak felel meg.

Az eredmények értékelése, következtetések

A frakcionálási vizsgálatoknál feldolgozott szemeskukoricazúzalék 26,4—31,3% tárolási nedvességtartalma és 1,42—4,5 mm-es szemcseméret-tartománya jól reprezentálja az üzemi gyakorlatot. Különösen a toronytárolásra jellemző a 26—28% betárolási nedvességtartalom és a $d_{50} = 4,5$ mm-es szemcseméret.

Horizontál tárolásnál az elterjedten alkalmazott BF—7 darálókat a nedvességtartalomtól és tömegáramtól függően ugyancsak jól jellemzi a $d_{50} = 1,42—1,92$ mm-es átlagos szemcseméret.



23. ábra. A leválasztott finom frakció tömege és szemcseméret (d_{50})-eloszlása a rostahossz függvényében

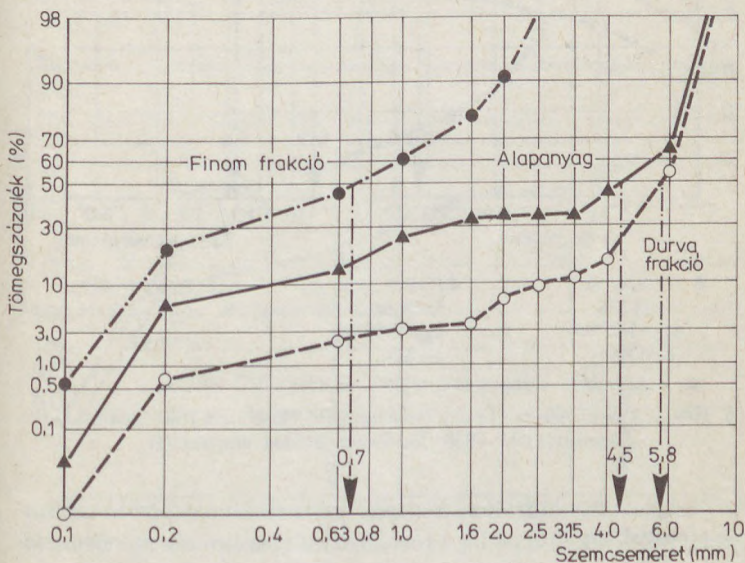
Az eredmények értékelésénél kövessük magát a kutatás-fejlesztés munkáinak folyamatát. Először a berendezés kialakításából és vizsgálatából származó eredmények és következtetések áttekintését végezzük el.

a) A kialakított kísérleti frakcionáló berendezés 1,9—2,7 t/h átteresztőképesség és 0,47—0,60 kWh/t fajlagos energiafelhasználás mellett, 75,6—90,6% leválasztási aránytényezővel dolgozik.

Az átlagosnak tekinthető 83,1%-os leválasztási arány megfelelőnek mondható.

A mérési eredmények elemzéséből kiderül, hogy ez az aránytényező növekvő nedvességtartalommal és a szemcsés halmaz csökkenő egyenetlenségével kisebb lesz.

A berendezésre és a leválasztás folyamatára jellemző a 2 mm-en aluli finom frakció mennyiségi és minőségi változását bemutató kettős diagram, amely a 23. ábrán követhető, ahol a



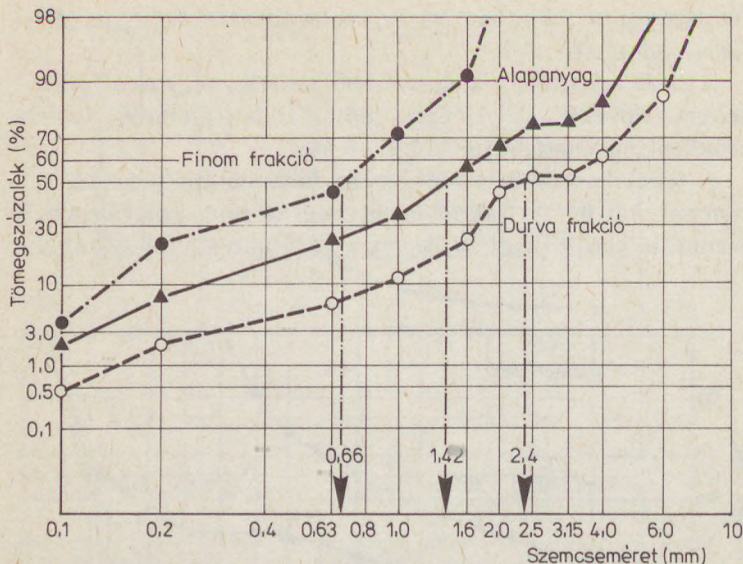
▲ Alapanyag:
 $w = 28.0\%$
 $d_{50} = 4.50\text{ mm}$
 $U = 13.70$

● Finom frakció:
 leválasztás aránya = 33,1%
 $d_{50} = 0.70\text{ mm}$
 $U = 5.16$

○ Durva frakció
 $d_{50} = 5.80\text{ mm}$
 $U = 2.25$

A frakcionálás fajlagos energiafelhasználása: 0.60 kWh/t

24. ábra. A kukoricaszem-zúalék szemcseméret-eloszlása a frakcionálásnál (toronysiló, 1986. Jásztelek, alapanyag)



- | | | |
|---|---|---|
| ▲ Alapanyag:
w = 31,3 %
d ₅₀ = 1,42 mm
U = 5,58 | ● Finom frakció:
leválasztás aránya = 53,2%
d ₅₀ = 0,66 mm
U = 5,39 | ○ Durva frakció:
d ₅₀ = 2,40 mm
U = 3,65 |
|---|---|---|

A frakcionálás fajlagos energiafelhasználása: 0,57 kWh/t

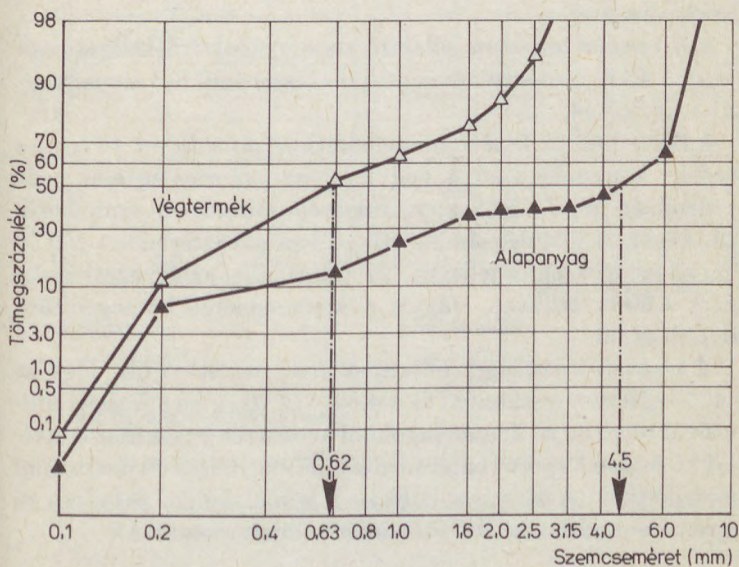
25. ábra. A kukoricaszem-zúzalék szemcseméret-eloszlása a frakcionálásnál (horizontál siló, 1986. Törökszentmiklós, alapanyag)

leválasztott finom frakció *tömegének* a rostahossztól való *változást* látjuk felül, alul pedig a rostán áthulló szemcsék *méreteloszlását* találjuk.

A beadagolási oldalról nézve látható, hogy a rostahossz első negyedében (0,1 m) hullik át a zúzalék tömegének 63,6—71,0%-a. Utána a leválasztott mennyiség folyamatosan csökken és a rosta utolsó negyedében (0,7 m) 4,0—5,8%-ra mérséklődik. Az áthullott frakció méret szerinti osztályozódását is jól nyomon követhetjük az alsó diagramon. A beadagolást követő-

en a dobostán először a legkisebb, 0,65—0,71 mm-es szemcsék hullanak át, majd a legvégén, az utolsó negyedben az 1,61—1,66 mm-es zúzalékhányad hagyja el a berendezést.

b) A nedvesszemeskukorica-zúzalékok szemcseméretének változására utaló és a frakcionálással összefüggő mérési eredményeket a 24. és a 25. ábrákon követhetjük nyomon. Az utódarálást követően kapott végtermékek szemcseméret-eloszlását a kiindu-



▲ Alapanyag:
 $d_{50} = 4,50 \text{ mm}$
 $U = 13,70$

△ Végtermék:
 $d_{50} = 0,62 \text{ mm}$
 $U = 4,61$

Fajlagos energiefelhasználás:

- Frakcionáló: 0.60 kWh/t

- A durva frakció utódarálása ($\phi 12 \text{ mm}$): 3.12 kWh/t

26. ábra. A kukoricaszem-zúzalék szemcseméret-eloszlása a frakcionálásnál (toronysiló, 1986. Jásztelek, utódarálás)

lasi alapanyagokkal a 26. és a 27. ábrák alapján hasonlítjuk össze.

A *toronytárolásra* jellemző $d_{50} = 4,5$ mm-es zúzalék frakcionálásánál a 33,1%-ban leválasztott, 2 mm-en aluli frakciót a 0,7 mm-es szemcseméret jellemzi. A durva frakció átlagos szemcsemérete 5,8 mm. A durva frakció utódarálását, majd finom frakcióval történő összekeverését követően kapott *végtermék* (26. ábra) *mediánja* 0,62 mm. Az egyenetlenségi mutató (U) 13,7-ről 4,61-re csökkent, ami a végtermék nagyon jó szemcseméret-eloszlására utal.

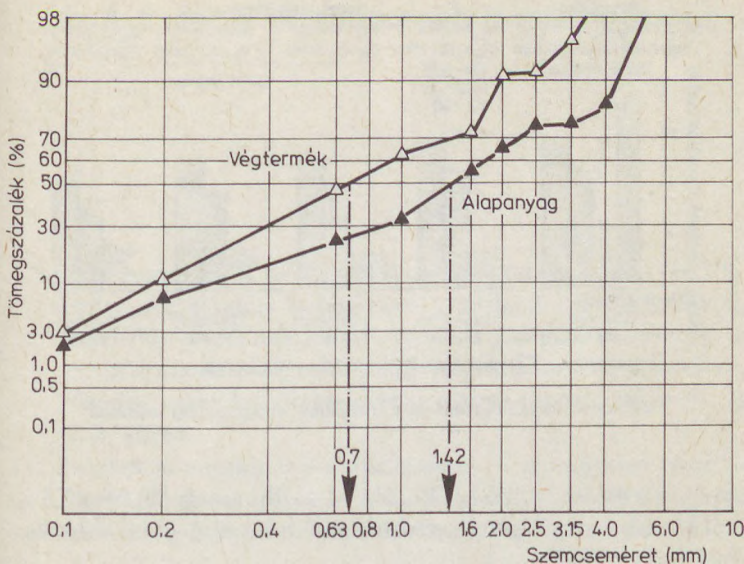
A *horizontál tárolásra* jellemző alapanyagok értékelését csak a $d_{50} = 1,42$ mm-es szemcseméretű törökszentmiklósi alapanyag-nál végeztük el.

A BF-7 darálók felső szemcseméretétárát a $d_{50} = 1,42$ mm-es medián képviseli, ahol a nedvesszemeskukorica-zúzalék már eredendően jó ($U = 5,58$) egyenetlenségi mutatóval rendelkezik (25. ábra). A feldolgozás következtében a végterméket a 0,70 mm-es szemcseméret jellemzi (27. ábra), ahol az egyenetlenségi szám 4,50-re csökken, vagyis a szemcseméret homogenitása tovább javul.

A *kísérleti eredményeket összefoglalva* kijelenthetjük, hogy az 1,42—4,50 mm mediánnal és a 4,64—13,70 egyenetlenségi mutatóval rendelkező alapanyagokból a szétválasztást és utódarálást követően kapott végtermékek 0,62—0,70 mm-es mediánnal rendelkeznek. A szemcsés halmazok homogenitása javul, és az egyenetlenségi mutatóból ítélve igen jónak mondható.

c) A *frakcionálás és utódarálás energiaigényét* és az összehasonlító elemzést a 28. ábra oszlopdigramjain adjuk meg. Az összehasonlításnál mindig a teljes zúzalékmennyiség darálásának átlagosan 3,5 kWh/t fajlagos villamosenergia-felhasználását tekintettük alapnak.

A *toronytárolásra jellemző* szemeskukorica-zúzalék frakcionálásánál a fajlagos villamosenergia-felhasználás 0,6 kWh/t, a



▲ Alapanyag:

$d_{50} = 1,42 \text{ mm}$

$U = 5,58$

Fajlagos energiafelhasználás:

-Frakcionáló: 0,57 kWh/t

-A durva frakció utódarálása ($\phi 12 \text{ mm}$): 3,32 kWh/t

△ Végtermék:

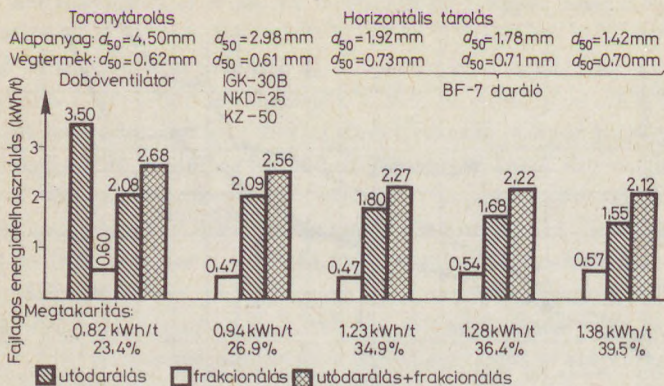
$d_{50} = 0,70 \text{ mm}$

$U = 4,50$

27. ábra. A kukoricaszem-zúzalék szemcseméret-eloszlása a frakcionálásnál (horizontál siló, 1986. Törökszentmiklós, utódarálás)

durva zúzalékhiányad utódarálására pedig 2,08 kWh/t fajlagos villamos energia fordítódik. A jelenleg alkalmazott módszerhez viszonyítva tonnánként 0,82 kWh, vagyis kb. 23,4% villamos energia takarítható meg.

A horizontál tárolásra jellemző szemcseméretetek mellett a frakcionálás és az utódarálás fajlagos villamosenergia-felhasználása 2,12—2,56 kWh/t között fordul elő, és a fajlagos energiamegta-



28. ábra. Az utódarálás és a frakcionálás energiaráfordításai

karítás 0,94—1,38 kWh/t között változik, amely 26,9—39,5%-kal kisebb energiaigényt eredményez, mint a meglévő feldolgozási technológiák.

Szükségesnek tartjuk hangsúlyozni, hogy a frakcionálásból adódó energiamegtakarítási lehetőségek mellett nagyobb jelentőség tulajdonítható a végtermék lényegesen kedvezőbb szemcseméret-eloszlásának, vagyis annak, hogy a nem kívánatosnak mondott 0,3 mm alatti lisztfrakció mennyisége gyakorlatilag nem növekszik, és ugyanakkor kiküszöböljük a 3,5—4,0 mm-nél nagyobb szemcsék előfordulását is. Ez a szemcseméret a keverő- és kiosztóberendezésekben, valamint a takarmányértékesülésnél is problémákat vethet fel.

4. A kutatás legfontosabb megállapításai

1. Szemeskukorica darálásánál a magasabb (22,8—44,1%) nedvességtartalom hatására az aprítással létrehozott fajlagos felületnövekmény exponenciális jelleggel emelkedik. A szemeskukorica nagyobb nedvességtartalomnál jobban aprózódik, ami a kisebb szemcseméretben jut kifejezésre (7., 8. és 9. ábra).
2. Nedves szemeskukorica aprításánál — a nagyobb rostaátmérők alkalmazásakor — a tömegáram fokozása erőteljesen mérsékli a fajlagos felületnövekedést, mely folyamat a

$$\Delta f = 121,65 \cdot e^{-0,115Q}$$

exponenciális összefüggéssel írható le (10. ábra). Azonos fajlagos felületnövekedés eléréséhez a 35—44% nedvességtartományban eggyel nagyobb rostafokozat alkalmazható, mint a 22—30% nedvességtartalom között. Ezzel a daráló tömegárama mintegy 15—40%-kal növelhető, a fajlagos energiafelhasználás egyidejű csökkenése mellett.

3. A nedves szemeskukorica darálásánál — egy adott rostaméret mellett — az aprítás fajlagos energiaszintje gyakorlatilag állandónak tekinthető és független a nedvességtartalomtól (11. és 12. ábra). A 6 mm-es lyukazatú rostánál, mely a legfinomabb szemcseméretet eredményezi, a fajlagos energiaszint átlagértéke $1,07 \cdot 10^{-7}$ kWh/cm². A többi rostánál, ahol az aprítást kisebb fajlagos felületnövekedés jellemzi, $0,84 \cdot 10^{-7}$ és $0,88 \cdot 10^{-7}$ kWh/cm² átlagértékeket tapasztaltunk.

4. A 33,7—35,0% nedvességtartalmú szemeskukorica darálásakor, rostamérettől függően az összes energiamennyiség 15,7—35,1%-a az aprításra, 37,3—41,1% pedig a súrlódásra fordítódik. Egy adott rostánál a nedvességtartalom emelkedésével az aprítási és a súrlódási energiahányad a szállítási energiaszükséglet rovására növekszik (13. és 14. ábra).
5. A szemeskukorica-zúzalék ömlesztett sűrűsége (ϱ_{00}) a technológiára jellemző $29,8 \pm 0,3\%$ nedvességtartalomnál és 0,61—2,98 mm szemcseméret-tartományban 455—525 kg/m³. A definiált módszerrel átlagosan 12,8% sűrűség-növekedés érhető el, és így a rázott sűrűség (ϱ_0) 517—580 kg/m³ értékhatárok között fordul elő (15. ábra).
6. A nedvesszemeskukorica-zúzalék sűrűségének változását a tömörítő nyomástól (p) és a terhelési számtól (n) függően a

$$\varrho_n = \varrho_{00} [1 + Ap^m (1 - e^{-n/N})]$$

egyenlettel jellemezhetjük, ahol az A ; m és N értékeit meghatároztuk (17. ábra). Horizontál silókban, a tömörítő traktorokkal általában biztosítható 60—110 kPa nyomás és az általunk célszerűnek mondott $n=6$ terhelési szám mellett 51—55%-os sűrűség-növekedés érhető el. A gyakorlatban ez úgy valósítható meg, hogy a terítést végző traktor egyszer ($n=2$), a tömörítő traktor kétszer ($n=4$) halad végig azonos nyomon. Ennek további ismétlésével csak néhány százalék sűrűség-növekedést lehet elérni.

7. A szemeskukorica-zúzalék magasabb nedvességtartalom mellett jobban tömöríthető. A 23,8—35,9% nedvességtartományban a sűrűség exponenciális jellegű növekedést mutat (19. ábra).
8. Azonos nedvességtartalom esetén, az átlagos szemcseméret növekedésével a tömörítésnél kisebb sűrűség érhető el (20. ábra).
9. Horizontál silókban a zúzalék tömörítésekor fellépő maximális falnyomás értéke 35—50 kPa, és ez a 0,7—0,9 m

falmagasságnál jelentkezik. Az alsóbb rétegekben a fenéklap okozta súrlódás a falnyomást fokozatosan nullára csökkenti (21. ábra).

10. A kialakított frakcionáló berendezés, a gyakorlatban előforduló nedvességtartalom és szemcseméret-határokon belül, átlagosan 83,1%-os leválasztási aránytényezővel dolgozik. A leválasztott frakció mennyiségi és minőségi eloszlását a rostahossz mentén exponenciális függvények írják le (23. ábra).
11. A frakcionáló berendezés alkalmazásával a $d_{50} = 1,42$ — $4,50$ mm-es nagy szemcseméretű zúzalékokból a további feldolgozásnál $d_{50} = 0,61$ — $0,70$ mm szemcseméretű homogén végtermék kapható (28. ábra). A javasolt technológia a 23,4—34,9%-os energiamegtakarítás mellett kiküszöböli a lisztfrakció mennyiségi növekedését, és egyben megszünteti a 3 mm-nél nagyobb zúzalékhányadot.

5. Javaslatok az eredmények hasznosítására

1. A BF-7 típusú nedvesszemeskukorica-darálónál, egy kb. 60°-os középponti szöghöz tartozó további rostafelület gyári beépítésével, egy zártabb aprítótér létrehozásával a zúzalék szemcseméret-eloszlása javítható.
2. Új darálók kialakításánál és a meglévő berendezések továbbfejlesztésénél törekedni kell:
 - a 40—45—47%-os (eleven) aktív felületarányú és egyseges rostabetétek kialakítására, mely a 8—10—12 mm lyukátmérőjű rostasorozatnak felel meg,
 - a rosták gyors cserélhetőségének biztosítására,
 - az adagolórendszerek fokozatmentes szabályozására az optimális terhelési szint és munkaminőség biztosítása érdekében.
3. A nedves szemeskukorica keverőüzemi feldolgozásánál 35%-nál nagyobb nedvességtartalom esetén általában az eggyel nagyobb rostafokozattal ugyanazt a szemcseméretet lehet biztosítani, és a daráló tömegárama is magasabb lesz.
4. Horizontál siklóokban a zúzalék tömörítése során:
 - ügyelni kell az egyenletes (maximum 50 cm-es) rétegvastagság biztosítására,
 - a 30 t/h-nál nagyobb betárolási teljesítménynél indokolt a terítésre és tömörítésre külön traktort alkalmazni,
 - a nehéz gumikerekes traktorok (K-701, T-150 K, Rába-250) általában nagyobb tömörítő nyomást fejtenek ki,

de nagy rétegvastagságoknál a lánctalpas traktorokkal (DT-75, T-130) is azonos tömörítő hatás érhető el,

- a zúzalék fizikai jellemzőinek ismeretében a kívánatos tömörséget elsősorban a tömörítő nyomás növelésével, a rétegvastagság csökkentésével igyekezzünk elérni. Az azonos nyomon járás egy határon túli alkalmazása gondos mérlegelést igényel.

5. A horizontál silók előre gyártott betonelemeihez, a falnyomás mértékének és változásának ismeretében, célszerű lenne egy kísérleti egyenszilárdságú elemrendszert kialakítani és az ellenőrző számításokat elvégezni.
6. Ahhoz, hogy a Rankine-féle egyenlet a tervezői gyakorlatban alkalmazható legyen a támfalak méretezésére, indokolt lenne meghatározni a nedvesszemeskukorica-zúzalék belső súrlódási szögét $w = 30\text{—}40\%$ nedvességtartalom és 1,5—2,5 mm átlagos szemcseméret-tartományban.
7. Napjainkban a frakcionálás alkalmazása elsősorban toronytárolási technológiával és nyirkos takarmánykeverő üzemmel rendelkező gazdaságokban javasolható. A berendezés egyszerű kivitele miatt az egyedi gyártás is megvalósítható. Közepes tárolótelep-méretnél (kb. 6000 tonna) a berendezés költsége két éven belül megtérül a villamosenergia-megtakarításból. Ha a minőségi kritériumok előtérbe kerülnek, az általános alkalmazás igénye nő.

6. Legfontosabb jelölések

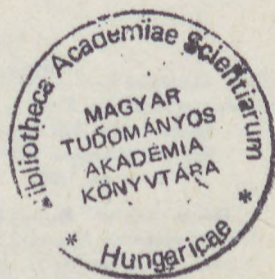
q [t/h]	= tömegáram (anyagáram)
E [kWh vagy MJ]	= energiaráfordítás
e [kWh/t vagy MJ/t]	= fajlagos energiafelhasználás
v [$10^{-7} \cdot \text{kWh/cm}^2$]	= fajlagos energiaszint, amely 1 cm^2 új felület előállításához szükséges az aprítás során
f [cm^2/g]	= fajlagos felület, azaz 1 gramm szemekukorica felülete
Δf [cm^2/g]	= fajlagos felületnövekmény az aprítás során
$d_{\text{átl}}$ [mm]	= átlagos szemcseméret
d_{50} [mm]	= a szemcseméret-eloszlást jellemző medián
U [d_{60}/d_{10}]	= egyenetlenségi mutató, amely a szemcsés halmaz homogenitását jellemzi
ϱ [kg/m^3]	= a takarmány sűrűsége
n	= terhelési szám, a tömörítő nyomás gyakorisága
p [kPa]	= nyomásérték
w [%]	= nedvességtartalom

Irodalom

- [1] *Albrecht, D.*: Berücksichtigung des Verdichtungsverhaltens von Körnermaissilagen bei der Berechnung des Investitionsbedarfs für Garfutterbehälter. *Grundl. Landtechnik*, 1978/4.
- [2] *Bánházi Gy.*: A nedves tartósítás és felhasználás a kukorica takarmányozásában. *Nemzetközi Mg. Szemle*, 1983/5, 88—94 p.
- [3] *Bánházi Gy.*: A kukoricabetakarítás, tárolás és felhasználás energiatakarékos alternatív technológiája. Doktori értekezés, Budapest, 1985.
- [4] *Bánházi Gy.*—*Csermely J.*—*Endrődi S.*: Erjesztett szemeskukoricazúzalék tartósítás és feldolgozás technológiai és gépei. Gabonatermesztés Gépesítésének kérdései *Nemzetközi Tanácskozás, Gödöllő*, 1985., 61—66 p.
- [5] *Beke B.*: Őrlemények szemcseméret-eloszlásának egyenletességi tényezője. *Műszaki Tudomány*, Budapest, 1971/44, 6—19 p.
- [6] *Beke, B.*—*Kiss, I.*: Theoretical Study of the Grinding Process. *Acta Technica*, Budapest, Tom. 56., 1966.
- [7] *Berczeli J.*—*Csermely J.*—*Endrődi S.*: Nedves szemeskukoricazúzalék tartósítása és felhasználása a Törökszentmiklósi ÁG-ban. *Nemzetközi Mg. Szemle*, 1983/6, 95—99 p.
- [8] *Bölöni, I.*: The Required Power Input of Hammermills. *Acta Technica*, Budapest, Tom. 45., 1964.
- [9] *Bölöni, I.*—*Henderson, S. M.*: Closed Circuit Grinding of Agricultural Products. *Journal of Agr. Eng. Res*, Silsoe, 1966/11, 248—254 p.
- [10] *Charles, R. J.*: Energy Size Reduction Relationship in Comminution. *Mining Eng.*, 1957., 80—88 p.
- [11] *Csermely, J.*: The Preservation and Utilization of Wet Corn Crushings in Hungary. *FAO-CNRE, Milano Report 12*. 1983., 7 p.

- [12] *Csermely, J.—Endrődi, S.*: Technologie i masine za Konzerviranje drobljenog zrna visokovlznog kukuruza. Agrotechnicar XIX., Zagrab, 1983/9, 11—13 p.
- [13] *Csermely, J.—Komka, Gy.*: Energy Saving Preservation of Grain. MTA-FAO/CNRE, Budapest, 1983, N° 1. 15—17 p.
- [14] *Csermely, J.—Endrődi, S.*: A nedves kukorica aprítási és tömörítési jellemzői. MTA-MÉM AMB VI. kötet, Gödöllő, 1985., 17—19 p.
- [15] *Csermely, J.—Endrődi, S.*: Technische Zusammenhänge der Lagerung von feuchtem Maiskorn (kézirat). Internat. Messekongress, Leipzig, 1987.
- [16] *Csermely, J.—Endrődi, S.*: Grinding of Wet Grain Meize, Compaction and Fractioning of Grits. FAO-CNRE Bull., 1987, N° 16. 16—19 p.
- [17] *Estler, M.*: Das Zerkleinern von CCM Mais. 1980/3, 11—14 p.
- [18] *Fekete A.*: Kerekas traktorok gumiabroncsainak tömörítő hatása. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1973.
- [19] *Gelencsér, E.*: Description of Stress and Strain Condition on the Basis os Rheological Models. Bull. Univ. of Agric. Sci., Gödöllő, 1986, N° 1. 149—160 p.
- [20] *Grimm, K.—Nuscheler, J.*: Die Trennung von Lieschkolbenschrot-(LKS) -Silage in die CCM- und Lieschfraktion. LKS und GPS Tagung 1983. Weihenstephan, 1984/2, 21—30 p.
- [21] *Kézdi Á.*: Talajmechanika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1960.
- [22] *Messer, H. J.—Hawkins, J. C.*: The Influence of Moisture Content and Chap Length of Forage Maize an Silage Bulk Density and the Pressure on Bunker Silo Walls. Journal of Agr. Eng. Res., Silsoe, 1978/2. 175—182 p.
- [23] *Mester L.*: Kohézió nélküli szemcsés anyagok fizikai-mechanikai elméletének alapjai. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1977.
- [24] *Mester L.*: Feszültségek a kohéziós szemcsés anyagokban. Járművek, Mezőgazdasági Gépek, Budapest, 1978/2, 56—60 p.
- [25] *Muirhead, S.*: Nutritional Value of Feed Influenced by Grain Size. Feedstuff, Miniapolis, 1984. jún. 11., 23—24 p.
- [26] *Oberbarnscheidt, B.—Laufeld, P.—Hummel, F.*: Das Zerkleinern und Entnehmen von Maiskorn-Spindel-Gemisch. Tag. Ber. Akad. Landw. Wiss. Berlin, 1986, N° 251. 100—107 p.

- [27] *Pieper, K.—Wenzel, F.*: Druckverhältnisse in Silozellen. Wilhelm és Sohn, Berlin—München, 1964.
- [28] *Powel, E. A.—Pettibone, A. C.—Torabi, R. M.*: Pressure Exerted on the Walls of Large Bins by Stored Potatoes. Transactions of ASAE, 1980., 685—687 p.
- [29] *Ratschow, J. P.* és munkatársai: Silieren im Fahrsilo. Silieren im Hochsilo. Top Agrar (Extra), 1981., 26—34 p.
- [30] *Sembery P.* (szerk.): Energiatakarékos technológiák a mezőgazdaságban. GATE, Gödöllő, 1984.
- [31] *Sembery P.* (szerk.): Új technológiák és berendezések a mezőgazdasági energetikában. GATE, Gödöllő, 1985.
- [32] *Sitkei Gy.*: Mezőgazdasági gépek talajmechanikai problémái. Akadémia Kiadó, Budapest, 1967.
- [33] *Sitkei, Gy.*: Einige Probleme der Bereifung von Ackerschleppern, insbesondere auf leichten Böden. Acta Technica, Budapest, Tom. 69. 1970.
- [34] *Sitkei Gy.*: Mezőgazdasági járószerkezetek méretezési módszerei. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1972.
- [35] *Sitkei Gy.*: A mezőgazdasági anyagok mechanikája. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981.
- [36] *Tzeng, R. C.—Bilanski, W. K.*: Settling Corn Using Vibration. Transactions of the ASAE, 1982., 242—245 p.



A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat igazgatója
A nyomdai munkálatokat az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat végezte

Felelős vezető: Zöld Ferenc

Nyomdai táskaszám: 21945

Budapest, 1993

Felelős szerkesztő: Balassa Éva

Műszaki szerkesztő: Nyárádi Tamásné

A fedélterv Koppány Simon munkája

Megjelent 3,4 (A/5) ív terjedelemben

Kiadványszám: I/155

HU ISSN 0324—2714

A sorozatban jelent meg:

70. HARANGOZÓ LÁSZLÓ—
KERTÉSZ JÁNOS

A búza szórva vetése röpitőtárcsás
műtrágyaszórával

71. LIGETVÁRI FERENC

A cseppenkénti öntözés hatása a
szőlőre

72. FÉSŰS ANDRÁS—JOVÁN DÁNIEL—
KELEMEN ZSOLT

Szecs-kázógépek összehasonlító
vizsgálata teljes kukorica növényi
zúzalék készítésében

73. VAS ATTILA

A szárításos szemestermény-tartó-
sítás helyzete és fejlesztési lehetőségei

74. NEMÉNYI MIKLÓS

Energiatakarékosan szárítható
kukoricahibridek jellemzői

75. TÓTH LÁSZLÓ

Újabb kísérleti eredmények
a fejtés hatékonyságának növelésé-
hez

76. TÓTH LÁSZLÓ—HONTI VINCE

A szélenergia mérése és műszerei

77. FEKETE ANDRÁS

Traktoros gépcsoport terhelés-
szabályozása

78. JOVÁN DÁNIEL—KELEMEN ZSOLT

Újabb zúzóberendezésekkel felsze-
relt szecs-kázók összehasonlító ér-
tékelése

79. SÁNTHA ATTILA

Ágrártermelés és környezet-
védelem

80. BORSA BÉLA—FEKETE ANDRÁS

Traktoros gépcsoport és
betakarítógép terheléselemzése

81. PATKÓS ISTVÁN és munkatársai

Nagyüzemi állattartó telepek
rekonstrukciói

82. HUSTI ISTVÁN

A mezőgazdasági műszaki fejlesztés
néhány társadalmi-gazdasági
összefüggése



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

Ára: 132,— Ft 10% áfával

CSERMELY JENŐ

**A nedvesszemeskukorica-zúzalék tárolásának
műszaki és technológiai összefüggései**

A mezőgazdaság műszaki fejlesztésének tudományos kérdései 83.

A magyar mezőgazdaságban a gabonatermesztésnek, ezen belül a kukoricáénak mindig kulcsfontosságú szerep jutott.

Energiatakarékos tartósítási, tárolási és felhasználási technológiái között a nedvesszemeskukorica-zúzalék készítése a nagyüzemi méretű gazdálkodásban is jelentős helyet foglal el, de a tökeszegény kisüzemek megjelenésével fontossága még nő.

A szerző a nedvesszemeskukorica-zúzalékkal kapcsolatos legfontosabb műszaki és technológiai összefüggések feltárását tűzte ki céljául, hogy ezzel is segítse a takarmány minőségének jobb megőrzését és a gazdaságosságát.

ISBN 963 05 6578 1



**a mezőgazdaság
műszaki fejlesztésének
tudományos kérdései**