

DIPLOMADOLGOZAT

Király Domonkos
Agrár-műszaki rendszermérnök Msc szak

Szent István Campus
2025

**MŰSZAKI INTÉZET,
AGRÁR-MŰSZAKI RENDSZERMÉRNÖK MESTER SZAK**

DIPLOMADOLGOZAT
feladatlap

Király Domonkos (R511KV)

részére

A szakdolgozat címe:

Kalapácsos darálás technológiai paramétereinek elemzése

Feladatkiírás:

Foglalja össze és értékelje a kalapácsos darálás technológiai paramétereivel kapcsolatos szakirodalmat, különös tekintettel az energiafelhasználás, a szemcseméret-eloszlás és a gépbeállítási tényezők (rostaátmérő, megszívás) összefüggéseire. Tervezen és hajtson végre üzemi méréseket különböző darálási paraméterek mellett. A mért adatok alapján elemezze a darálási folyamat hatásfokát, az energiaigény és a szemcseméret-eloszlás kapcsolatát, valamint a megszívás és a rostaátmérő hatását a teljesítményre és a termék minőségére.

A vizsgálati eredmények alapján vonjon le következtetéseket a technológiai optimalizálás lehetőségeiről és tegyen javaslatot az energiahatékonyság javítására.

Közreműködő tanszék: Mezőgazdasági- és Élelmiszeripari Gépek Tanszék

Külső konzulens: Nincs


Belső konzulens: Dr. Korzenszky Péter Emőd habilitált egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet, Mezőgazdasági- és Élelmiszeripari Gépek Tanszék

Beadási határidő: 2025. november. 04.


Gödöllő, 2024. november 6.

Jóváhagyom


Dr. Bártfai Zoltán
(tanszékvezető)


Prof. Dr. Kátai László
(szakfelelős)

Átvettem


Király Domonkos
(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2025. hó nap

(külső konzulens)



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Agrár-műszaki rendszermérnök szak

Kalapácsos darálás technológiai paramétereinek elemzése

Belső konzulens: **dr. Korzenszky Péter Emőd**

habilitált egyetemi docens

Készítette: **Király Domonkos**

R511KV

levelező tagozat

Intézet/Tanszék: **Műszaki Intézet,**

Mezőgazdasági és

Élelmiszeripari Gépek Tanszék

Szent István Campus

2025

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés és célkitűzések	4
2.	Szakirodalmi áttekintés	7
2.1.	Hatásvizsgálat a darálási finomság és a pelletméret tekintetében	7
2.2.	Őrlési finomság és a növekedési teljesítmény közötti kapcsolat.....	8
2.3.	Rostanyílás mérete és a teljesítmény közötti összefüggések.....	9
2.4.	Különböző takarmányformák emészthetőségre és teljesítményre gyakorolt hatásai	10
2.5.	Aprítás és darálás jellemzői és folyamata	11
2.6.	A kalapácsos darálás fejlődésének bemutatása	14
3.	Anyag és módszer	16
3.1.	A vizsgálati helyszín és mérési körülmények bemutatása	16
3.2.	Az üzem bemutatása és a vizsgálat körülményei	20
3.3.	Kalapácsos daráló Kahl HM 07.10 bemutatása.....	21
3.4.	Darálás adatgyűjtés	27
3.5.	Takarmánykeverés, homogenizálás	27
3.6.	Kondicionálás, pelletálás és hűtés folyamata	28
3.7.	Minőségellenőrzés és minőségbiztosítási rendszer a takarmánygyártásban	32
4.	Eredmények és értékelésük	36
4.1.	Darálási eredmények értékelése	36
4.2.	Gyártási kapacitás értékelése	37
4.3.	Villamosenergia felhasználás és gyártási villamosenergia költség értékelése	39
4.4.	Darálás utáni szemcseméret-eloszlás és D50-értékek értékelése	43
4.5.	Pelletkeménység vizsgálati eredmények értékelése	47
4.6.	Gyártási költségek és a darálás energetikai részarányának értékelése	48
5.	Következtetések és javaslatok	51
6.	Összefoglalás	53
7.	Irodalomjegyzék.....	55
8.	Ábrajegyzék	57
	Köszönetnyilvánítás	58
	Mellékletek.....	59
	Nyilatkozatok.....	70

1. Bevezetés és célkitűzések

A világ népessége az elmúlt évtizedekben folyamatos növekedést mutat, amely az élelmiszer-előállítás hatékonyságát és fenntarthatóságát a 21. század egyik legfontosabb globális kihívásává tette. Míg 1950-ben a Föld lakossága mindössze 2,5 milliárd fő volt, 2025-re ez a szám meghaladta a 8,2 milliárdot, és az ENSZ előrejelzései szerint 2050-re elérheti a 9,7 milliárdot. A népesség-növekedéssel párhuzamosan az élelmiszer-fogyasztás is emelkedik: a FAO becslései alapján 2050-ig a mezőgazdasági termelésnek legalább 60 %-kal több élelmiszert kell előállítania, mint 2010-ben. A növekvő igények nemcsak a növényi, hanem az állati eredetű élelmiszerekre is kiterjednek. Az urbanizáció, a jövedelmek növekedése és a változó fogyasztói szokások hatására az egy főre jutó éves húsfogyasztás világszinten az 1960-as évek 23 kg/fő/év értékéről mára 43 kg/fő/év fölé emelkedett. Ezzel párhuzamosan a hús- és fehérje-igény kiszolgálása az állattenyésztés egyik legnagyobb kihívásává vált, hiszen a takarmány-, energia- és vízfelhasználás egyre nagyobb terhet ró a gazdaságokra és a környezetre.

Az állattenyésztés és a brojlercsirke-ágazat jelentősége

Az állattenyésztés a világ fehérje-ellátásának mintegy egyharmadát biztosítja, és egyben a mezőgazdaság egyik leggyorsabban fejlődő területe. Az elmúlt évtizedekben a hús-előállítás szerkezete jelentősen átalakult: a baromfihús-termelés dinamikus növekedésének köszönhetően a brojlercsirke napjainkra a világ vezető húsforrásává vált. Míg 1970-ben a globális baromfihús-termelés alig 15 millió tonna volt, 2025-re ez meghaladta a 135 millió tonnát, ami több mint nyolcszoros növekedés. Világszinten évente közel 66 milliárd brojlercsirkét vágunk le, ami hozzávetőleg 110 millió tonna csirkehúst eredményez. Az Európai Unióban évente 6-7 milliárd brojler kerül feldolgozásra, mintegy 11 millió tonna termeléssel. Magyarországon a baromfiágazat az állattenyésztés egyik húzóereje, évi 500-520 ezer tonna baromfihús-termeléssel, ami mintegy 220 millió levágott baromfit jelent. A brojlercsirke népszerűségét a gyors növekedés, a jó takarmány-értékesítés és a kedvező előállítási költség magyarázza. A modern hibridek, mint például a Ross 308, 35-40 napos korban akár 2,4-2,6 kg élősúlyt is elérnek, miközben a fajlagos takarmány-felhasználásuk mindössze 1,6-1,8 kg takarmány/kg élősúly-gyarapodás. Ennek köszönhetően a csirkehús a legolcsóbb és legelérhetőbb állati fehérjeforrás világszerte.

A takarmányozás szerepe és volumenadatai

Az állattenyésztés gazdaságosságát alapvetően a takarmányozás határozza meg. A globális takarmányipar éves termelése meghaladja az 1,3 milliárd tonnát, amelynek több mint 90 %-a haszonállatok számára készül. Ezen belül a baromfitakarmány részesedése közel 47 %, míg a sertésé 27 %, a szarvasmarháé 20 % körül alakul. Európában évente mintegy 250 millió tonna takarmány készül ipari körülmények között, Magyarországon pedig 5-5,5 millió tonna. A brojlercsirke-ágazat takarmányozása általában négyfázisú etetési rendszerben történik: indító, nevelő, befejező I. és befejező II. szakaszokban. A receptúrák 80-90 %-át szemes alapanyagok adják, amelyek döntő többségét kalapácsos darálással aprítják. Egyes üzemekben a finomabb frakciót hengersizék választja le, de a legtöbb esetben a darálás a takarmánygyártás egyik legfontosabb és legenergiaigényesebb művelete marad.

A kalapácsos darálás jelentősége és gazdasági hatása

A kalapácsos darálás a takarmánygyártás során az egyik legnagyobb villamosenergia-felhasználású művelet, amely az üzem teljes energiafogyasztásának akár 17-20 %-át is kiteheti. A darálás energiaigénye közvetlenül befolyásolja a keveréktakarmány előállítás költséget, ez pedig közvetve a takarmány és végső soron a hús árát is. Mivel a brojlerhizlalás összes költségének 60-70 %-át a takarmány teszi ki, a darálási folyamat energiahatékonysága jelentős árhatalással bír. Például, ha a darálási energiafogyasztás 10 %-kal csökken, az a kész takarmány önköltségében 1-2 %-os megtakarítást eredményezhet, ami nagyüzemi méretekben éves szinten több millió forintos költségcsökkentést jelent. Ez a megtakarítás a végtermék árát is kedvezően befolyásolhatja: a takarmányárak mérséklődése csökkenti a brojlerhús előállítás költséget, ami végül a fogyasztói árakban is megjelenhet. A darálás energiaigénye mellett a darálmány minősége is döntő: a szemcseméret-eloszlás hatással van az emészthetőségre, a pelletálás minőségére és a tápanyag-hasznosulásra. Az optimális szemcseméret tehát nemcsak energetikai, hanem táplálkozás-élettani és gyártástechnológiai kérdés is. A kalapácsos daráló beállításainak, például a rostaátmérőnek, kalapácsfordulatnak és az aspiráció (megszívás) mértékének, helyes megválasztása kulcsfontosságú mind a termelékenység, mind a költséghatékonyság szempontjából.

A kutatás célja és indokoltsága

Dolgozatom központi kérdése, hogy a kalapácsos daráló különböző rostaméretei, valamint a megszívás alkalmazása hogyan befolyásolja a villamosenergia-felhasználást és a darált termék szemcseméret-eloszlását. Feltételezésem szerint kisebb rostaméretek esetén a darálás energiaigénye nő, míg a megszívás csökkentheti a fajlagos energiafelhasználást, mivel javítja az anyagáramlást, csökkenti a gép terhelését és hűti a berendezést, ami tűz- és robbanásvédelmi szempontból is kiemelten fontos. A kutatás személyes szakmai tapasztalatból is építkezik. A Zala-Cereália Kft. takarmánykeverő üzemében végzett munkám során lehetőségem nyílt Kahl gyártmányú kalapácsos darálón üzemi méréseket végezni. A gyakorlati megfigyelések és a gyűjtött adatok lehetőséget biztosítanak a technológiai paraméterek tudományos feldolgozására, valamint a darálási energiahatékonyság és termékminőség összefüggéseinek értékelésére. A vizsgált kérdés nemcsak vállalati, hanem ágazati és nemzetgazdasági szinten is releváns, hiszen az energia- és költségmegtakarítás a teljes takarmányipar versenyképességét javíthatja. Magyarországon a baromfi-ágazat az egyik legdinamikusabban fejlődő állattenyésztési terület, ezért minden olyan technológiai fejlesztés, amely hozzájárul a hatékonyság növeléséhez, közvetve a hazai élelmiszer-ellátás és exportpozíció erősítését is szolgálja.

Kutatási célkitűzések

Dolgozatom egyik fő célja annak a vizsgálata, hogy hogyan változik a kalapácsos daráló villamosenergia-felhasználása különböző rostaméretek és megszívási beállítások mellett. Emellett szeretném megvizsgálni, hogy milyen szemcseméret-eloszlás érhető el eltérő paraméter-kombinációkkal, valamint milyen technológiai és gazdasági következményekkel járnak ezek a beállítások a takarmánygyártás hatékonyságára és a termékminőségre nézve. A vizsgálatok során üzemi kísérletek, villamosenergia-mérés, valamint laboratóriumi szemcseméret-analízis (rázórostálás) képezik az adatgyűjtés alapját. Az eredmények statisztikai értékelésével céloom olyan következtetések levonása, amelyek hozzájárulnak az energiahatékony takarmánygyártási gyakorlat fejlesztéséhez, és ezen keresztül a brojler-húságazat versenyképességének javításához.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Hatásvizsgálat a darálási finomság és a pelletméret tekintetében

Svihus és munkatársai egy témához kapcsolódó kutatást végeztek, melynek célja annak a feltárása volt, hogy a darálás finomsága (finom vagy durva őrlés), valamint a pelletméret (3 és 5 mm átmérőjű pelletek) milyen hatással van a brojlercsirkék teljesítményére, emésztőrendszeri működésére és takarmányfelvételi viselkedésére, amikor a takarmány fő alapanyagai a búza és a kukorica. A szerzők abból a feltételezésből indultak ki, hogy a takarmány fizikai szerkezete, azaz az őrlemény szemcsemérete és a pellet geometriája, alapvetően befolyásolja a zúzógyomor működését, a bélrendszer perisztaltikáját, valamint az emésztés hatékonyságát. A takarmányfeldolgozási iparban ugyanakkor a pelletek méretének növelése kedvező lehet a gyártási energiaigény szempontjából, mivel a nagyobb présnyílások kisebb ellenállást jelentenek. A kérdés az, hogy a nagyobb pelletméret és a durvább őrlés nem okoz-e teljesítményromlást a brojlercsirkék esetében. A kísérletben Ross 308 hibrid csirkéket etettek búza- és kukoricaalapú takarmánnyal, amelyeket két különböző darálási finomságban (durva és finom) és két pelletméretben (3 és 5 mm) készítettek. A kísérlet 34 napig tartott, és a kutatók a növekedési teljesítményt, a takarmányértékesítést (FCR), a zúzógyomor tömegét és pH-ját, valamint a viselkedési paramétereket (pl. etetési aktivitás) is vizsgálták. Az eredmények szerint sem a pelletméret, sem a darálás finomsága nem okozott szignifikáns különbséget a testtömeggyarapodásban vagy az FCR-értékben. A csirkék képesek voltak kezelni az 5 mm-es pelleteket már napos kortól, és a durvábban őrlött takarmány nem rontotta az etetési hatékonyságot. A zúzógyomor tömege ugyanakkor enyhén nagyobb volt a durvább őrleményt fogyasztó állatoknál, ami a gyomor intenzívebb mechanikai működésére utalt. A durva őrlés esetén megfigyelt enyhe pH-csökkenés a zúzógyomorban szintén az emésztés kedvezőbb feltételeit jelezte, ami javíthatja a fehérje-feltáródást. A kísérlet eredményei tehát azt mutatták, hogy a durvább darálás és a nagyobb (5 mm-es) pelletátmérő nem rontja a brojlercsirkék teljesítményét, ugyanakkor kedvezően befolyásolja a zúzógyomor működését és az emésztőrendszeri funkciókat. A szerzők megjegyezték, hogy a nagyobb pelletméret a takarmánygyártás során energiamegtakarítást eredményezhet, hiszen a préselés kisebb ellenállással jár, ezáltal csökken az elektromos energiafelhasználás. Összességében a kutatás alátámasztotta, hogy a brojlercsirkék jól alkalmazkodnak a különböző takarmányszerkezetekhez, és a pelletek méretének növelése, valamint a durvább darálás nem csökkenti a növekedési teljesítményt, viszont javíthatja az emésztés fiziológiai hatékonyságát.

Ez ipari szempontból is jelentős, mivel lehetőséget nyit arra, hogy az etetési technológiák és a pelletálási paraméterek optimalizálásával csökkenteni lehessen a gyártási költségeket anélkül, hogy ez a termelési eredmények rovására menne. (Svihus et al., 2025)

2.2. Őrlési finomság és a növekedési teljesítmény közötti kapcsolat

Amerah és munkatársai is ezen a területen folytattak kutatásokat. A tanulmány a takarmány szemcseméretének és fizikai formájának (morzsás és pelletált formák) hatását vizsgálta brojlercsirkék teljesítményére, az energiahasznosításra, a bélrendszer fejlettségére és a béltartalom fizikai paramétereire. A kísérlet célja annak feltárása volt, hogy a különböző őrlési finomság (3 mm és 7 mm rostaszítán darált búza, azaz közepes és durva szemcseméret) és a takarmányforma hogyan befolyásolja a brojlerindító takarmány emészthetőségét és a madarak növekedési teljesítményét. A kísérleti elrendezés 2×2 faktoros volt: kétféle szemcseméret és kétféle takarmányforma (morzsázott és pellet). A búza, szójadara alapú indító tápokot 21 napos korig etették Ross 308 brojlercsirkékkel. Az eredmények szerint a pelletált takarmányt fogyasztó madarak teljesítménye szignifikánsan jobb volt, mint a morzsázott formát fogyasztóké. A pelletek esetében nőtt a testtömeg-gyarapodás és javult a takarmány-átváltás (FCR), ugyanakkor a nettó metabolizálható energia kissé csökkent. A morzsázott takarmányoknál a durvábbra őrlött búza szintén kedvezőbb hatást mutatott a súlygyarapodásra és az FCR-re, mint a közepes szemcseméretű őrlemény. Érdekes módon a pelletálás kiegyenlítette a szemcseméretből adódó különbségeket, vagyis a pelletált takarmányban már nem volt szignifikáns hatása a szemcseméretnek a teljesítményre. Ez azzal magyarázható, hogy a pelletálás során a mechanikai és termikus hatások tovább csökkentik a részecskeméretet, ezáltal a finomabb és durvább őrlemény közötti különbségek elmosódnak. A pelletálás etetés a bélrendszer anatómiai változásait is előidézte: a zúzógyomor tömege és hossza csökkent, míg a bélbolyhok magassága növekedett. Ez arra utal, hogy a pelletált takarmány fogyasztása a bélfal felületének növekedésével fokozta a tápanyag-felszívódás lehetőségét, ugyanakkor a zúzógyomor szerepe mérséklődött, mivel a finomabb szerkezetű takarmány kevesebb mechanikai feldolgozást igényelt. A pelletminőség szempontjából a kutatás kimutatta, hogy a búza szemcsemérete nem befolyásolta a pellet tartósságát. Ez cáfolja azt a gyakori feltételezést, hogy a finomabb őrlemény mindig jobb pelletminőséget eredményez. A szerzők rámutattak, hogy a pelletek tartósságát számos más tényező, például a búza fehérje- és olajtartalma, valamint keményítő-gélképző képessége, is befolyásolja. Összességében a kutatás megállapította, hogy a takarmányforma nagyobb hatással van a brojlercsirkék teljesítményére és bélrendszeri morfológiájára, mint az őrlemény szemcsemérete.

A pelletált etetés ugyan csökkenti a béltraktus hosszát és a zúzógyomor aktivitását, de javítja a növekedési mutatókat és az etetési hatékonyságot. Ezzel szemben a durvábbra darált morzsázott takarmány serkenti az emésztőrendszeri működést és a gyomor fejlődését, ami hosszú távon az egészséges bélműködést támogatja. A szerzők szerint a durvábbra őrölt búza használata morzsázott formában, illetve az energiahatékonyabb, nagyobb lyukú rosták használata jelentős energiamegtakarítást eredményezhet az ipari takarmánygyártásban anélkül, hogy a brojlercsirkék teljesítménye romlana. (Amerah et al., 2007)

2.3. Rostanyílás mérete és a teljesítmény közötti összefüggések

Egy korábbi, a témához tartozó kutatás célja annak meghatározása volt, hogy a kalapácsos daráló rostanyílásának mérete, ezáltal a darált kukorica szemcsemérete, miként befolyásolja a brojlercsirkék teljesítményét, a pellet tartósságát és a darálás energiaigényét. A vizsgálat során három különböző rostaméretet alkalmaztak: 3,18 mm, 6,35 mm és 9,53 mm átmérőjű szitákat. A kísérletet kereskedelmi hibrid brojlercsirkékkel végezték két ismétlésben, klimatizált istállókban. A madarak a 42. napig kapták a pelletált takarmányokat, amelyek mindegyike azonos tápanyag-összetételű volt, csak a darált kukorica szemcseméretében különbözött. A pelletek 4,76 mm átmérőjű, 64 mm hosszú présmatricán készültek. A darálási kísérletek során a kutatók megállapították, hogy a geometriai középátmérő D50 lineárisan nőtt a rostanyílás méretével: a 3,18 mm-es rostán 679 μm , a 6,35 mm-es rostán 987 μm , míg a 9,53 mm-es rostán 1289 μm volt az átlagos szemcseméret. Ez a kapcsolat egyértelműen jelezte, hogy a kalapácsos darálás finomsága jól szabályozható a szitanyílás méretének változtatásával. A brojlerkísérletek eredményei szerint a legfinomabb (3,18 mm) és a legdurvább (9,53 mm) őrlés is jobb testtömeggyarapodást és takarmányértékesítést eredményezett, mint a közepes (6,35 mm) darálás. A teljesítményben nem volt lényeges különbség a legfinomabb és legdurvább őrlemény között, de mindkettő szignifikánsan jobbnak bizonyult a közepes őrléshez képest. A takarmányfelvétel nem különbözött jelentősen a kezelések között, tehát a teljesítményjavulás a takarmány jobb hasznosulásának volt köszönhető. Egy további kezelésben a kutatók a 3,18 mm-es és a 9,53 mm-es őrlemények 50-50%-os keverékét is tesztelték. Ennek a kevert takarmánynak a geometriai középátmérője (908 μm) közel azonos volt a 6,35 mm-es rostán darált kukoricáéval, azonban a brojler teljesítménye mégis jobb lett. Ez arra utal, hogy a szélesebb szemcseméreteloszlás (tehát a finom és durva frakciók együttes jelenléte) önmagában is pozitív hatással lehet az emésztésre és a növekedésre, mivel a különböző méretű szemcsék eltérő sebességgel haladnak a bélrendszerben.

A pelletminőségi vizsgálatok szerint a pellet tartóssága enyhén javult a durvábban őrölt (9,53 mm-es) kukorica esetében, de az eltérés nem volt nagymértékű, mivel minden kezelés 90% feletti pellet-tartóssági értéket mutatott. Ez ellentmondott annak a korábbi ipari feltételezésnek, hogy a finomabb őrlés minden esetben jobb pelletminőséget eredményez. A szerzők megállapították, hogy a durvább darálás nem rontja a brojler teljesítményt, sőt bizonyos esetekben javíthatja azt, miközben jelentős energiamegtakarítást tesz lehetővé. Az energiaköltségek akár 30-35%-kal is csökkenthetők, ha a kalapácsos daráló rostaméretét 4,76 mm-ről 7,94 vagy 9,53 mm-re növelik. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a túlzottan finomra darálás, ami a pelletálás szempontjából sem feltétlenül szükséges, nemcsak felesleges energiafelhasználást jelent, hanem gazdaságtalan is lehet. A kutatás egyik legfontosabb következtetése, hogy nem célszerű a kukoricát ugyanolyan finomságúra darálni, mint a többi takarmánykomponenst (pl. szójadara), mivel ez a homogenizálás nem javítja sem a pelletek tartósságát, sem az állatok teljesítményét. A finom és durva szemcsék együttes jelenléte előnyösebb, különösen pelletes takarmányok esetében, ahol a szemcseméret különbségek már nem okoznak szeparációt. Összességében Reece és munkatársai kimutatták, hogy a takarmánygyártás során a kalapácsos daráló nagyobb rostaméreteinek használata gazdaságosabb és technológiailag is kedvező, mivel a pelletek minősége nem romlik, a brojlercsirkék teljesítménye nem csökken, viszont az energiafelhasználás jelentősen mérsékelhető. (Reece et al., 1986)

2.4. Különböző takarmányformák emészthetőségre és teljesítményre gyakorolt hatásai

Egy 2013-as tanulmány célja annak vizsgálata volt, hogy a gabona típusa (búza és kukorica), valamint a takarmány fizikai formája (morzsázott, pelletált és újradarált pellet) milyen hatást gyakorol a brojlercsirkék teljesítményére, illetve a tápanyag-emészthetőségre a fő tápanyagok (nitrogén, keményítő, zsír, kalcium és foszfor) tekintetében. A kísérletet 2×3 faktoriális elrendezésben végezték, ahol a két gabonatípust (kukorica és búza) három különböző takarmányformában etették (morzsázott, pellet és újradarált pellet). A takarmányokat kalapácsos darálóval készítették, 4 mm-es rostán darálva, és a Ross 308 brojlerhibrid tápanyagigényeinek megfelelően állították össze. Az eredmények szerint mind a kukoricás, mind a búzás étrendek esetében a pelletált etetés szignifikánsan növelte a testtömeggyarapodást és a takarmányfelvételt a morzsázott és az újradarált pallethez képest. Ugyanakkor az újradarált pellet különösen a búzaalapú étrendben drasztikus teljesítménycsökkenést okozott, amit alacsonyabb súlygyarapodás és magasabb fajlagos takarmány-felhasználás jellemezett.

Ez az eltérés erős interakciót mutatott a gabonatípus és a takarmányforma között. A kukoricaalapú étrendekben a prelegálási folyamatnem volt negatív hatása a nitrogén- és keményítő-emészthetőségre. Sőt, a pelletálás javította a zsír, kalcium és foszfor emészthetőségét, és ez a pozitív hatás megmaradt az újradarált pelleteknél is. Ez azt jelzi, hogy a kukoricás diétákban a pelletálás kedvezően befolyásolja az energia- és ásványianyag-hasznosulást. A szemcseméret-analízis eredményei is különbségeket mutattak a két gabona között. A kukoricás receptekben a pelletálás csak kis mértékben növelte a <0,075 mm-es finom frakció arányát, míg a búzás étrendeknél jelentősen csökkent a >2 mm-es durva részecskék aránya, vagyis a pelletálás jobban „lerombolta” a búza szerkezetét. Ez magyarázza a búzában tapasztalt emészthetőségi romlást. A kutatók következtetése szerint a takarmányforma hatása erősen függ a gabonatípustól és a vizsgált tápanyagtól. Összességében Abdollahi és munkatársai rámutattak, hogy a búza érzékenyebb a pelletálási technológia fizikai hatásaira, mint a kukorica, és a tápanyagok hő- vagy nyomás okozta szerkezeti változásai jelentős mértékben befolyásolják az emésztést. A gyakorlat számára ez azt jelenti, hogy búzaalapú takarmányok esetében különösen fontos a pelletálás paraméterek (pl. kondicionálási hőmérséklet, préselési nyomás, nedvességtartalom) optimalizálása, míg kukoricás receptekben a pelletálás biztonságosan alkalmazható az emészthetőség romlása nélkül. (http1)

2.5. Aprítás és darálás jellemzői és folyamata

Az aprítandó anyag tulajdonságaitól és a kívánt végtermék minőségi követelményeitől függően a gyakorlatban többféle darálótípus alkalmazható. Ilyenek például a hengeres darálók (hengerszékek, szemtörők), a tárcsás darálók, valamint a legszélesebb körben elterjedt kalapácsos darálók. (Farkas, 1977)

A gazdasági haszonállatok takarmányozásában a gazdaságos termelés alapfeltétele, hogy nagy energiatartalmú, megfelelő mennyiségű és minőségű fehérjét, valamint vitaminokat és nyomelemeket tartalmazó keveréktakarmányokat állítsanak elő. A keveréktakarmányok gyártását megelőző egyik legfontosabb művelet a szemestermények aprítása, darálása, amely alapvetően befolyásolja a komponensek egyenletes elkeverhetőségét, a végtermék szemcseméretét, megjelenését és fogyaszthatóságát. Az aprítás mértékét, vagyis az optimális szemcseméretet, úgy kell megválasztani, hogy az a tápanyag-hasznosulás és az előállítási költségek szempontjából egyaránt kedvező legyen. A kívánt szemcseösszetételt elsősorban az határozza meg, hogy a takarmányt mely állatfaj vagy korcsoport etetésére szánják.

A takarmánygyártás során törekedni kell homogén keverék előállítására, valamint arra, hogy a lisztes és poros frakciók aránya a lehető legkisebb legyen. A darálás során a szemestakarmányokat (például búza, árpa, kukorica, zab stb.) meghatározott méretű részekre aprítják.

Ez a folyamat a szemek mechanikai igénybevételével, nyomó-, hajlító- vagy nyírófeszültség hatására, történik, amikor a fellépő erő meghaladja az anyag törőszilárdságát. Az aprítás elmélete összetett, mivel inhomogén anyagokról van szó: a mag különböző részei eltérő fizikai tulajdonságokkal bírnak, a szemek alakja sem egységes, továbbá a nedvességtartalom is jelentősen befolyásolja azok viszkoelasztikus tulajdonságot. (Fogarasi, 1988); (Fogarasi, 1989)

A darálási folyamat során a termény először az adagolón és a mágnesen keresztül jut be a gépbe, majd az aprítás után többnyire légáram segítségével kerül elvezetésre. A kisebb teljesítményű darálók esetében a garat állításával, míg a nagyobb gépeknél vibrációs adagolóval szabályozzák a betáplált anyag mennyiségét és áramlását. Egyes korszerű berendezéseknél a daráló saját vákuuma szívja be a darálandó szemesterményt, amely előtte váltószelepen, kőcsapdán és vasleválasztón halad át a biztonságos működés érdekében. A darálótérben a szemek a nagy sebességgel forgó kalapácsoknak, majd a törőfelületnek és végül a rosta felületének ütközve aprózódnak. Az aprítás mértékét döntően a rosta lyukátmérője határozza meg, így a kívánt szemcseméret a megfelelő rosta kiválasztásával, illetve cseréjével szabályozható. A mezőgazdasági gyakorlatban leggyakrabban a 3-6 mm-es rostanyílású szitákat alkalmazzák. (Reményi, 1974); (Silver et.al., 1931)

A darálók fajlagos energiafelhasználása szempontjából az a legkedvezőbb, ha a kívánt szemcseméretet a lehető legnagyobb rosta-lyukmérettel sikerül elérni, hiszen így csökkenthető a darálás energiaigénye. A kalapácsos darálók egyik jelentős előnye, hogy az aprítás során éles, szögletes törési felületű szemcséket állítanak elő, amelyek nemcsak könnyebben emészthetők, hanem a további feldolgozási lépések, például a keverés vagy a granulálás, során is kedvezőbb fizikai tulajdonságokat mutatnak. A felaprított szemesterményből, valamint az egyéb kiegészítő összetevőkből keverési művelettel készül a homogén keveréktakarmány, amelynek célja a komponensek egyenletes eloszlása. A keverés szakaszos vagy folyamatos üzemű gépekkel történhet, a gyártás jellegétől függően, akár automatizált üzemekben, akár kisebb, helyben működő kisüzemi takarmánykeverőkben. Az integrált daráló, keverő berendezések teljesítménye alapvetően a daráló kapacitásától függ. Ezt befolyásolja a gép konstrukciója, a feldolgozott alapanyag típusa (pl. búza, kukorica, árpa, zab), valamint a rosta nyílásmérete.

A teljes technológiai folyamat hatékonyságát emellett meghatározza a komponensek kimérésének pontossága, a garatfeltöltés módja és időtartama, a keverés ideje, illetve a lezsákolás sebessége. Az abraktakarmányok előkészítése különösen fontos az intenzív állattartásban, főként a sertés- és baromfitartó telepeken, ahol ezekből a takarmányokból nagy mennyiséget használnak fel.

A darálás és keverés minősége közvetlenül hat a takarmány tápanyag-hasznosulására, az állomány egészségi állapotára, valamint a termelés gazdaságosságára. A túl finomra darált takarmány nem kívánatos, mivel a silóba töltés során rétegződhet, az etetéskor pedig az állatok válogatva fogyaszthatják, ami a takarmány tápanyagtartalmának eltolódásához és egyes komponensek alul fogyasztásához vezethet. Az életkornak megfelelő szemcseméretű granulátumok ezzel szemben minden tápanyagot az előírt arányban tartalmaznak, így egyenletes tápanyagfelvételt biztosítanak. A pelletálás, extrudálás vagy expandálás nemcsak a takarmány fizikai tulajdonságait javítja, hanem hőkezeléssel is jár, amely jelentősen csökkenti a csíraszámot és javítja a takarmány higiéniai minőségét. Ugyanakkor fontos szem előtt tartani, hogy a hőkezelés során egyes vitaminok lebomolhatnak, és a toxikus anyagok sem feltétlenül semlegesülnek. Emiatt a takarmány gyártási, szállítási és tárolási folyamatának minden lépését szigorúan ellenőrizni kell a biztonságos és hatékony állattartás érdekében. (Nagy, 2003)

Az alaptakarmány előállításának fontos lépése az összetevők aprítása, amelynek célja, hogy a tápanyagok könnyebben hozzáférhetőek legyenek az emésztőnedvek számára, és a különböző takarmányalkotók egységes, jól keverhető halmazt alkossanak. Az aprítás tehát javítja a takarmány emészthetőségét és homogenitását, ugyanakkor bizonyos hátrányos hatásai is lehetnek. Az aprítás során a növényi sejtek felnyílnak, így a bennük található olajok és zsírok gyorsabban oxidálódnak, mint az egész szemben, ami a takarmány tárolhatóságát és minőségét rontja. A lisztes szerkezetű takarmányok keményítője a kérődzők bendőjében túlságosan gyorsan lebomlik, emiatt a bendő kémhatása savasabbá válik, ami kedvezőtlenül befolyásolja a fermentációs folyamatokat. A nagyon finomra aprított takarmányok hajlamosak a szájpadrásra tapadni, ezáltal nehezítik a takarmányfelvételt és csökkentik az állatok étvágyát. Sertéseknél a túl apró szemcseméretű dara növeli a nyelőcsői gyomorfekély kialakulásának kockázatát, ezért a megfelelő szemcseméret megválasztása kiemelt jelentőségű az állategészségügy és a termelési hatékonyság szempontjából is. (Wondra, 1995)

A különböző állatfajok esetében szintén meghatározó tényező a takarmány szemcsemérete és szemcseeloszlása. Brojlercsirkéknél például a finom részecskék arányának növelése kedvezően hathat a takarmányhasznosításra, és akár kétszeres értékesítési hatékonyságot is eredményezhet. Ugyanakkor a túlzott porfrakció arány a testtömeg-gyarapodás jelentős csökkenését idézheti elő szélsőséges esetben a növekedés üteme akár mintegy egyharmadára is visszaeshet. (Korzenszky et.al., 2009)

2.6. A kalapácsos darálás fejlődésének bemutatása

Az aprító- és méretcsökkentő berendezések fejlődése az ipari takarmánygyártás fontos háttérét képezi, hiszen a darálás jelenti az egyik alapvető előműveletet a szemcsés alapanyagokból készülő takarmányok előállításánál. A méretcsökkentés történetileg már az ókorban megjelent - például vízimalmok formájában -, azonban a modern ipari kalapácsos darálók kialakulása a 19. századra tehető. A célszerű méretcsökkentés igénye az állati takarmányozásban a hús- és tojástermelés növekedésével párhuzamosan nőtt, és a kalapácsos darálók a nagy tömegben, viszonylag gyorsan működő rendszerek révén váltak meghatározóvá. Források szerint a kalapácsos daráló elődjének tekinthető eszközök már az 1800-as évek elején megjelentek, de az ipari méretű alkalmazás és a villamos hajtás csak később, a 20. században vált standarddá. (http5) Az állati takarmánygyártásban a darálás szabályozása (például a szemcseméret-eloszlás, energiafelhasználás, karbantartás) a modern üzemek egyik legfontosabb technológiai kihívása, hiszen a túl durva vagy túl finom darálás egyaránt kedvezőtlen következményekkel járhat. (Heimann, 2024) A technológia fejlődésének következő fázisát a kalapácsos daráló rotor- és késhengeres kialakításainak továbbfejlesztése, az automatizált szitaszabályozás, a légáramlásos tisztítás és az energiahatékony hajtásrendszerek jelentették. Például a mai takarmányipari kalapácsos darálók olyan innovációkat alkalmaznak, mint a „double-hole” (kettős kalapácspozíció) rotorlemez a finomság változtatásához, illetve közvetlen hajtás, amely a korábbi ékszíjas áttételeket váltotta fel. (Bhandari, 2023)

A kalapácsos daráló működési elvének alapjai viszonylag egyszerűek és jól dokumentáltak. A gép központi eleme egy nagy sebességgel forgó rotor, amely jobb- vagy baloldali csuklópontos kalapácsokkal van felszerelve. A rudazatra erősített kalapácsok a forgás során ismétlődő ütéssel és súrlódással bontják a betáplált anyagot. A darálószerkezet belső terében található perforált szita vagy rostajarat csak akkor engedi ki a bontható részecskéket, ha azok már kisebbek a kívánt lyuk-átmérőnél.

Ez az elv a „ütéses elválasztás és rostálás” kombinációjára épül. (http2) A folyamat során több hatás is érvényesül: az anyag ütközik a forgó kalapácsokkal, a kamrában lévő falakkal és más részecskékkel, így keletkezik az elsődleges törés. Ezt követi a finomítás és továbbtörés a szitán való áthaladás előtt. A szitaszerkezet többnyire acéllemez perforációból vagy huzalból áll, melynek lyukmérete közvetlenül hat a kimeneti szemcseméret-eloszlásra. (http3)

A kiválasztás tehát része a darálásnak: amíg a szemcsék nem elég aprók ahhoz, hogy átjussanak a szitán, addig a gépben maradnak és tovább törnek. Ez biztosítja a kívánt szemcseméret-eloszlás elérését. A konstrukció tervezésénél fontos paraméter a rotor sebessége, a kalapács-hossz és tömeg, a szita lyukmérete és elrendezése, valamint az aspirációs vagy légáram-rendszer, amely segíti az anyag áramlását és a szitafoltok tisztítását. (http4) Mai takarmánykeverő üzemekben a kalapácsos daráló mindennapos része a gyártósornak, mivel képes olyan finomságot és egyenletességet biztosítani, amely nélkül a pelletálás, kondicionálás és a későbbi emészthetőség nem válna gazdaságossá. A darálás optimalizálása tehát azt jelenti, hogy minimális energiafelhasználással, megfelelő szemcseméret-eloszlással, alacsony por- és farrész-arány mellett állítsuk elő a pelletálásba kerülő anyagot. (Heimann, 2024)

3. Anyag és módszer

3.1. A vizsgálati helyszín és mérési körülmények bemutatása

A vizsgálat célja a Zala-Cereália Kft. zalaszentgróti takarmánykeverő üzemében működő Kahl HM 07.10 típusú kalapácsos daráló technológiai paramétereinek részletes elemzése volt. A vizsgálat során azt szerettem volna megállapítani, hogy a különböző rostaátmérők és az aspirációs (megszívásos) üzemmód megléte vagy hiánya miként befolyásolja a darálás energiafelhasználását, a légáramlás sebességét, a keletkező darált anyag szemcseméret-eloszlását, valamint a pelletálás után mérhető fizikai tulajdonságokat. A vizsgálatokhoz új, egységes falvastagságú rosták használata volt szükséges, mivel a kopott rosták anyagvastagsága csökken, ezáltal az anyag kipattanásának valószínűsége is mérséklődik, ami a darálás hatékonyságát és a mért energiaértékeket torzíthatja.

2025 szeptember 23-án megrendelésre kerültek az új rosták az UBM Feed Zrt. Környe-i telephelyéről. A rosták anyaga 3 mm vastag, edzett acéllemez volt, a perforációk átmérői 2,5; 3,0; 3,5 és 4,0 mm méretűek. A gyártás után az új rosták 2025. október 5-én kerültek leszállításra a Zala-Cereália Kft. zalaszentgróti telephelyére, ahol a gyakorlati mérések és az ipari gyártási körülmények között végzett vizsgálatok zajlottak. A takarmánykeverő üzem modern, automatizált rendszerrel rendelkezik, így a vizsgálat valós termelési körülmények között, üzemi terhelés mellett történhetett.

A darálási vizsgálatok a brojler befejező takarmány gyártása során történtek, amely a ROSS 308 hibrid csirkék 4. fázisú takarmányozásához készült. A receptúra 81,09%-ban tartalmazott darálendő alapanyagot, így a darálási folyamat energetikai értékelése és technológiai összehasonlítása megbízható eredményeket adott. Minden kísérleti tétel 2 tonna volt, amelyből 1622 kilogramm képezte a darálendő hányadot. A darálást nyolc különböző beállításban végeztem el: a 2,5; 3,0; 3,5 és 4,0 milliméteres rosták esetében megszívással és megszívás nélkül is. A megszívás nélküli kísérleteknél a daráló ventilátorának zsuluját manuálisan zártam el, ezáltal a légáram megszűnt. A darálások között minden esetben körülbelül hetven másodperces szünetet tartottam, ezalatt ellenőrzésre került, hogy az előző adag teljesen kiürült a darálóból, így a különböző vizsgálati tételek nem keveredtek egymással. A darálás idejét, a villamosenergia-felhasználást, valamint a darálási folyamat paramétereit a berendezés PLC vezérlőegysége rögzítette.

A darálás közbeni légáramlás mérése TROTEC TA400 típusú Pitot-csöves anemométerrel történt. A mérési pontot a megszívó ventilátor elővezetékén jelöltem ki, egy egyenes, zavartalan csőszakaszon, ahol sem könyök, sem szűkület nem befolyásolta az áramlási profilt. A mérőcső átmérője 30 cm volt, a mérési helyet úgy választottam ki, hogy előtte és utána legalább ötszörös átmérőnyi egyenes szakasz álljon rendelkezésre. A cső falán 8 mm-es furat készült, amelybe a Pitot-cső pontosan illeszkedett. (1.ábra) A mérési pontokat a csövön belül öt sugárirányban (0,316R; 0,548R; 0,707R; 0,837R; 0,949R) vettem fel, így minden mérés során öt adatpont alapján számítottam átlagos légsebességet és térfogatáramot.

1. ábra: Pitot-csöves légsebességmérés a daráló elszívóvezetékén Forrás: saját fotó (2025)



A darálást követően a vizsgálati tételek megkapták a brojler befejező takarmány teljes receptúráját. Az alkalmazott recept összetétele a következő volt: UBM Brojler befejező ZC 0,5% premix 0,50%, UBM Brojler indító ZC 0,5% NN(45) premix 0,50%, UBM Brojler nevelő ZC 0,5% (Sal) premix 0,50%, kukorica 17,10%, takarmánybúza 36,99%, egész szemű takarmánybúza 15,00%, fullfat szója (GMO-mentes) 10,00%, extrahált szójadara 7,00%, növényi olaj 1,00%, L-lizin-HCl 78% 0,25%, DL-metionin 99% 0,18%, L-treonin 98% 0,08%, monokalciium-foszfát (MCP) 0,63%, takarmánymész 0,60%, vákuumsó (NaCl) 0,30% és nátrium-szulfát 0,07%.

A komponensek kimérése üzemi mérlegen történt, ezt követően az anyagok a 2 tonna kapacitású, egytengelyes, öt lapáttal felszerelt keverőgépre kerültek. A keverés időtartama 120 másodperc volt, amely az üzem tapasztalatai alapján biztosítja a homogén keveréket. A homogenitás ebben az esetben relatív, mivel az eltérő sűrűségű és szemcseméretű anyagok túlságosan hosszú keverés esetén szétosztályozódhatnak. Ezért az optimális keverési időt az anyagfizikai tulajdonságok és az üzemi teljesítmény figyelembevételével határoztam meg. A keverőgép alján hidraulikusan működtetett, teljes szélességben nyíló bombaejtő ajtó található, amely a keverés végén néhány másodperc alatt engedi ki a keveréket az utótartályba. A hidraulikus rendszer stabil zárást biztosít, mivel a hidraulikaolaj nem összenyomható, így a keverés során fellépő nagy erők nem képesek a zárószerveket megnyitni.

A mintavétel a keverő utótartályának középső részéből történt, mivel ott a legkiegyenlítettebb az anyag eloszlása. A minták közvetlenül a keverés után kerültek levételre, mert a daráló előtti szemes alapanyag rétegzett szerkezetű, így csak a keverés után biztosítható a reprezentatív mintavétel. (2.ábra) A minták légmentesen zárható, előre feliratozott zacskókba kerültek, majd biztonságos tárolás után a laborvizsgálatokhoz lettek szállítva.

2.ábra: Keverő utótartály és dercés mintavételi pont a darálási vizsgálatokhoz Forrás: saját fotó (2025)



A keverőből az anyag serleges felvonón keresztül jutott a pelletáló előtartályba, ahol a dercés takarmány 70 °C-os gőzös kondicionáláson ment keresztül, ezt követte a pelletálás és a hűtés. A hűtés után mintát vettem a késztermékből a pellet keménységi vizsgálathoz (PDI), míg a dercés keverékből a szemcseméret-analízishez.

A PDI mérést 2025. október 6-án az UBM Feed Zrt. Környe-i üzemében végeztem a Holmen NHP100 típusú berendezéssel. A minták az előző nap Zalaszentgrótról kerültek átszállításra, gondosan lezárt, légmentes zacskókban, papírdobozban rögzítve, hogy ne sérüljenek és ne változzon nedvességtartalmuk. A vizsgálat során a berendezés belseje megtisztításra került, a szűrőpapír ellenőrzésre, majd 100 gramm por- és morzsa nélküli pelletmintát mértem ki. A vizsgálat 90 másodpercig tartott, 70 mbar nyomáson, minden tétel esetében ötször megismételve. A mérések után a granulátum tömegének változásából számítottam ki a kopásállóság százalékos értékét.

A szemcseméret-analízist ugyanezen a napon, délután végeztem az UBM Feed Zrt. laboratóriumában (Környe, Tópart utca 1.). A dercés takarmány mintáit zárt, levegőtől mentes tasakokban szállítottam. A vizsgálat W.S. Tyler RX-29-10-HB-CE típusú rezgőszítával történt, amely 230 V feszültséggel, 50 Hz frekvenciával és 2,9 amper áramfelvétellel működik. A vizsgálat előtt a rosták megtisztításra és lemérésre kerültek, majd körülbelül 200 gramm minta helyeződött a felső rostára. A szitálás 5 percen át tartott, 4,0-3,35-2,8-2,0-1,4-1,0-0,71-0,50-0,25 mm rostasoron, zárt gyűjtőtálcával. A mérések után minden rosta visszamérésre került, a visszamaradt anyag mennyisége pedig a rosta üres tömegének kivonásával került meghatározásra.

A laborvizsgálatokból származó adatokat Microsoft Excel programban digitalizáltam. A frakciók tömegadataiból kumulatív szemcse-eloszlási görbéket készítettem, majd logaritmikus interpolációval meghatároztam a D10, D50 és D90 értékeket. Az energiafelhasználás, darálási idő, légsebesség és szemcseméret közötti összefüggéseket grafikonokon ábrázoltam és statisztikai elemzéssel értékeltem. Az így kapott eredmények alapján pontos képet kaptam arról, hogy a Kahl HM 07.10 típusú kalapácsos daráló működése során a rostaátmérő és az aspiráció miként befolyásolja a darálás energiahatékonyágát, a légtechnikai jellemzőket, valamint a takarmány fizikai minőségét. A vizsgálat valós ipari környezetben, üzemi körülmények között zajlott, így az eredmények gyakorlati szempontból is közvetlenül alkalmazhatók a takarmánygyártás technológiai optimalizálásában.

3.2. Az üzem bemutatása és a vizsgálat körülményei

A vizsgálataimat a Zala-Cereália Kft. takarmánykeverő üzemében végeztem, amely Zala megye egyik meghatározó takarmánygyártó vállalkozása. A cég fő tevékenysége a komplett takarmányok előállítása, éves szinten mintegy 70 000 tonna takarmány gyártásával. A termelés túlnyomó része baromfitakarmány, amelynek több mint 97%-át pelletált formában értékesítik. A magas pelletálási arány és az egységes gyártási struktúra különösen fontos a kutatás szempontjából, mivel így a darálási energia- és költségszámítás során releváns és összehasonlítható adatok állnak rendelkezésre. A vállalat az utóbbi években jelentős technológiai fejlesztéseket hajtott végre, amelyek célja a termelés hatékonyságának növelése és az energiafelhasználás optimalizálása volt. Az állattartó ágazatban kiemelkedik a Zalavég-i brojlertelep létesítése, amely egy modern, zárt rendszerű, síkpadozatú, tíz ólból álló telep, teljesen automatizált etető-, itató- és szellőztető rendszerrel. A beruházás eredményeként a telep turnusonként 270 000, éves szinten pedig mintegy 1,5 millió brojlercsirke előállítását teszi lehetővé. Az állattartási kapacitás növekedése indokoltá tette a takarmánygyártási ágazat fejlesztését is. Ennek keretében a vállalat több ütemben cserélte le a gyártás fő berendezéseit és a hozzájuk tartozó technológiai egységeket. A 2024-es évben a takarmánykeverő üzem kalapácsos darálóját és keverőjét a német Amandus Kahl gyártmányú berendezésekre cserélték, míg 2025-ben a pelletáló gépet a holland Van Aarsen cég CU900 típusú granuláló berendezése váltotta fel.

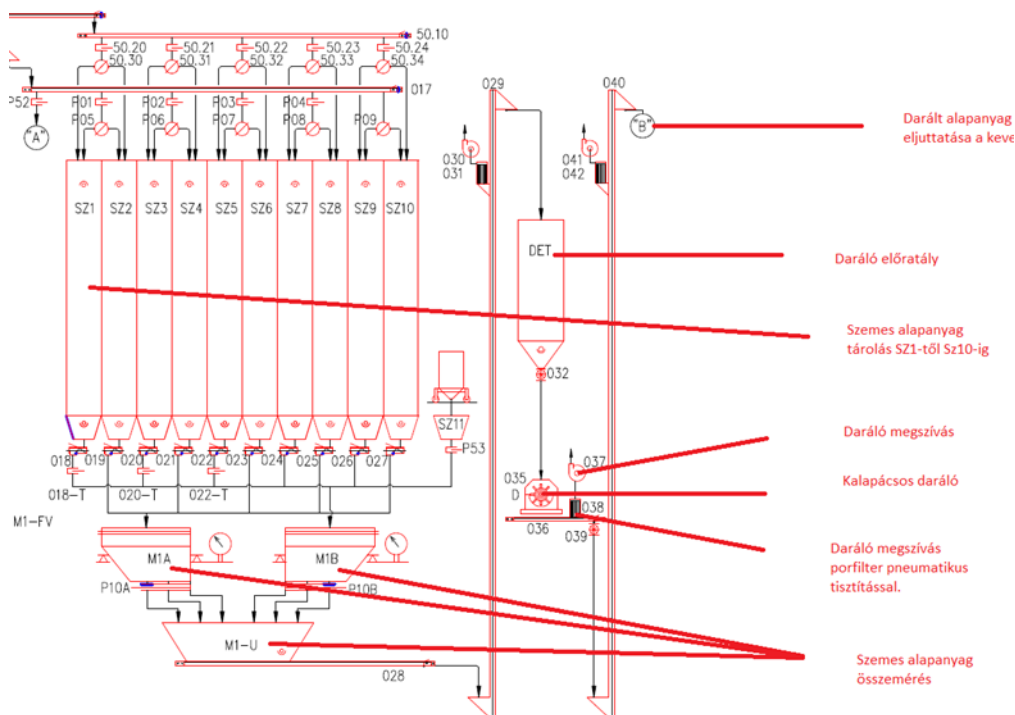
A fejlesztések eredményeként az üzem kész takarmány gyártási kapacitása éves szinten elérheti a 120 000 tonnát, miközben a korszerű gépeknek köszönhetően javult a gyártás energiahatékonysága, termelési stabilitása és termékminősége is. A kutatás során ezeknek az új berendezéseknek a gyártási paramétereit és teljesítményét vizsgálom, különös tekintettel a kalapácsos darálási folyamat energiaigényére, hatásfokára és a szemcseméret-eloszlásra. A vizsgálat során a különböző beállítási paraméterek módosításával gyűjtöttem adatokat, amelyeket laboratóriumi mintavétel és elemzés egészített ki

3.3. Kalapácsos daráló Kahl HM 07.10 bemutatása

A kalapácsos darálás esetében kiemelten fontos a megfelelő gépbeállítás, mivel ez az üzem egyik fő vezérgépe, egyben az egyik legnagyobb energiafogyasztó. A vizsgálat helyszínéül szolgáló üzemben (3.ábra) a daráló villanymotorja 200 kW teljesítményű, de nem ritka a 300 kW fölötti motor sem ezeknél a gépeknél.

3.ábra: Daráló elhelyezkedése a takarmánykeverő üzemben

Forrás: Zala-Cereália Kft. folyamatábra, saját feliratozás



A kalapácsos daráló hajtását egy WEG W22 Super Premium típusú, 200 kW névleges teljesítményű, háromfázisú aszinkronmotor biztosítja, amely az IE4 energiahatékonysági osztályba tartozik. A motor adattáblája alapján 400 V feszültség és 50 Hz frekvencia mellett a fordulatszáma 2979 fordulat/perc, az áramfelvétele 340 A, a teljesítménytényezője 0,88, míg a hatásfoka 96,5%. Ez a motor az IEC 60034-30-1 szabvány szerint a legmagasabb, úgynevezett Super Premium Efficiency (IE4) kategóriába sorolható, amely a korábbi IE1-IE3 szintekhez képest lényegesen jobb energiahatékonyságot biztosít.

Az IE-jelölés (International Efficiency) a villamos motorok hatásfokát jelöli, ahol az IE1 az alap hatásfokot, az IE2 a magas hatásfokot, az IE3 a prémium, míg az IE4 a szuper prémium hatásfokot jelenti. Egy IE4-es motor jellemzően 1-3%-kal kevesebb villamos energiát fogyaszt, mint az azonos teljesítményű IE3-as, és akár 6-8%-kal kevesebbet, mint egy régebbi IE1-es motor. A 200 kW-os teljesítménykategóriában (4. ábra) ez az eltérés éves szinten már érzékelhető energiamegtakarítást eredményez. Ha a motor napi 16 órában, évi 300 üzemnapon keresztül működik, akkor az IE1 (kb. 90%-os hatásfok) és az IE4 (96,5%-os hatásfok) közötti különbség mintegy 13-14 MWh energiamegtakarítást jelent évente, ami a jelenlegi energiaárak mellett körülbelül 1-1,2 millió forintos költségcsökkenést eredményezhet.

4.ábra: Kalapácsos daráló villanymotor adattáblája

Forrás: saját fotó, 2025

V	Hz	kW	RPM	A	PF	IE code	h	100%	75%	50%	
380 Δ	660 Y	50	200	2977	354	204	0.89	IE4	96.5	96.2	95.5
400 Δ	690 Y	50	200	2979	340	197	0.88	IE4	96.5	96.2	95.4
415 Δ	Y	50	200	2980	331	-	0.87	IE4	96.5	96.2	95.3
460 Δ	Y	60	200	3580	297	-	0.88	IE4	96.2	95.5	94.4

A magas hatásfok mellett az IE4-es motor további előnye, hogy működése során kevesebb veszteség keletkezik, ezáltal kisebb a tekercsek és csapágyak hőterhelése, ami hosszabb élettartamot és ritkább karbantartási igényt eredményez. A WEG W22 motor IP55 védettségű, S1 folyamatos üzemben is alkalmazható, és 40 °C környezeti hőmérsékletig névleges terheléssel üzemeltethető, ami a takarmánygyártási környezetben különösen előnyös. Összességében elmondható, hogy az IE4 hatásfokú hajtómotor alkalmazása a kalapácsos daráló esetében jelentős energiahatékonysági előnyt biztosít. A motor magas hatásfoka közvetlenül csökkenti az egységnyi darált takarmány előállításához szükséges villamosenergia-felhasználást, így mérhető mértékben javítja az üzem összesített energetikai mutatóit, és hozzájárul a vállalat költséghatékonysági, valamint fenntarthatósági céljainak teljesítéséhez. A kísérlet során a kalapácsos daráló frekvenciaváltóval szabályozható fordulatszámú üzemmódban működött. A daráló vezérlése PLC-n keresztül történik, amely a működés közben valós idejű adatokat szolgáltat a vezérlőszoftver felületén. A kísérlethez a fejlesztők egy speciális szoftverfrissítést készítettek, amely lehetővé tette, hogy a PLC másodpercenkénti mintavételezéssel rögzítse az idő, a motorfordulatszám (%) és a felvett áram (A) értékeit.

Ezek az adatok képezték a vizsgálat során elvégzett energiafelhasználási és terhelés-összefüggések elemzésének alapját.

Darálás előtt az adott gyártási tételhez szükséges szemes alapanyagot kimérjük, majd a daráló előtartályán keresztül a darálóba juttatjuk. Az adagolást három adagolócsiga végzi, (5.ábra) amelyek egy közös vályúban helyezkednek el. Az egyik szélső és a középső csiga jobbra, a másik szélső, balra forog, biztosítva az egyenletes anyagáramlást. A kísérlet során az darálandó anyag beadagolást egyenletesre állítottuk és nem változtattuk azt, hogy minden darálásnál ugyan olyan feltételekkel végezhessük a vizsgálatot.

5.ábra: Kalapácsos daráló adagoló csigák és hajtómotorjai

Forrás: saját fotó (2025)



Az alapanyag ezt követően mágnesen és nehézsúlyos-leválasztón halad át (6. ábra), amelyek eltávolítják a nem odavaló fémes és nem fémes szennyeződések, például a csavarokat vagy kavicsokat, ezáltal növelve az üzembiztonságot és a gyártott takarmány minőségét.

6.ábra: Kalapácsos daráló előtti mágneses idegen-test leválasztó egység Forrás: saját fotó

(2025)



A daráló belsejében található rotor egy oldható tengelykapcsolattal csatlakozik a frekvenciaváltóval vezérelt, háromfázisú villanymotorhoz. A rotoron több tengely fut, amelyekre lézerrel kivágott, gramm pontossággal kiegyensúlyozott, Hardox anyagból készült kalapácsok vannak felfűzve. A darálóban 8 tengely van, tengelyenként 29 kalapács, így összesen 232 db kalapács (7. ábra). A kalapácsok minősége kulcsfontosságú, mivel kopásállóságuk meghatározza a darálás minőségét, a kalapácsok élettartamát, és csökkenti a karbantartási állásidőt. Amikor a motor eléri az üzemi fordulatszámot, megkezdődik az alapanyag beadagolása. A forgó kalapácsok ütéssel aprózzák a szemeket, a megfelelő méretű szemcsék pedig a rosta nyílásain keresztül távoznak. Ebben a folyamatban nagy segítséget jelent a daráló megszívása, amely elősegíti a szemcsék gyors eltávolítását. A túl nagy szemcsék visszapattannak a kalapácsokra, amíg a kívánt méretet el nem érik.

7.ábra: Amandus Kahl kalapácsos daráló rotorja és kalapácssora Forrás: saját fotó (2025)



A megszívás helyes beállítása különösen fontos, mivel ezzel tehermentesíthetjük a darálót, csökkenthetjük az energiafelhasználást, és javíthatjuk a darálék homogenitását. Az optimális megszívás biztosítja, hogy a megfelelő szemcseméretű anyag időben távozzon a darálási térből, így elkerülhető a túlórlés. Emellett csökkenthető a daráló hő- és porképződése is. A daráló hőmérséklet- és csapágyhőmérséklet-érzékelővel van felszerelve. A megszívást (8.ábra) egy 11 kW teljesítményű ventilátor (9. ábra) és egy porleválasztó biztosítja. A porleválasztó a finom frakciókat és port felfogja, majd az adott tétel feldolgozása után automatikusan, pneumatikus lefúvató rendszerrel tisztítja önmagát, a leválasztott port pedig visszajuttatja a gyártási tételbe.

8.ábra: Kalapácsos daráló megszívó ventilátora és hajtómotorja kézi zsaluállítási lehetőséggel

Forrás: saját fotó (2025)



9.ábra: Kalapácsos daráló megszívó ventilátorának villanymotor adattáblája

Forrás: saját fotó (2025)

Q LAMMERS		www.lammers.de		www.lammers.hu		IE3	
3-Mot. 15BA 160M1-2		IEC/EN 60034		ThCl 155(F)		IP 55 IM B3	
S.N. GL2309050510							
V	Hz	A	kW	cos φ	nom eff	1/min	IE-CL
400 Δ	50	19.6	11	0.89	91.2	2950	IE3
690 Y	50	11.3	11	0.89	91.2	2950	IE3
460 Δ	60	19.5	12.6	0.89	91.0	3540	IE3
UK CA		AMB-20°C+40°C		Duty S1		m 126 kg	
CE		Bearing DE/NDE: 6309 ZZ C3 / 6309 ZZ C3				(H)	

3.4. Darálás adatgyűjtés

A daráló villamosenergia-fogyasztása és pillanatnyi áramfelvétele az üzem vezérlőhelyiségében folyamatosan nyomon követhető. Ezeket az adatokat a PLC rögzíti és tárolja, így a mérések könnyen kinyerhetők, feldolgozhatók és grafikonon ábrázolhatók. A daráló megszívása jelenleg manuálisan szabályozható, egy mechanikus zsalun keresztül, amelynek állításával a megszívás mértéke befolyásolható. Ez a változtatás nemcsak a kísérletek pontosabb elvégzését és az energiafelhasználás optimalizálását szolgálja, hanem a cég érdekeit is, mivel a technológia ezen része jelenleg energetikai szempontból nem működik optimálisan, így a fejlesztés költségcsökkentési és hatékonysági szempontból is jelentős előnyökkel járhat.

3.5. Takarmánykeverés, homogenizálás

A takarmánykeverékek előállításának egyik kulcsfontosságú folyamata a homogenizálás, amely biztosítja, hogy a különböző összetevők egyenletesen oszoljanak el a végtermékben. A keverési művelet célja a darálást követően érkező szemcsés és por alapanyagok, mint például vitaminok, aminosavak, takarmánylisztek, mikro- és makroelemek, valamint egyéb adalékanyagok homogén eleggyé történő összeállítása. A vizsgálatokhoz használt keverőberendezés egy Amandus Kahl SMW 4000 típusú ipari takarmánykeverő, amely 2023-ban gyártott, modern, nagyteljesítményű eszköz. A berendezés teljesítménye 45 kW, 400 Volt feszültségen üzemel, fordulatszáma frekvenciaváltóval szabályozható, alapértelmezés szerint 42 fordulat percenként 50 Hz-es hálózati frekvencián. A keverő hasznos térfogata 4000 liter, amely egy keverési ciklusban körülbelül 2 tonna anyag homogén elegyét képes előállítani.

A keverő hengeres kialakítású, belső felülete teljes egészében saválló rozsdamentes acélból készült, ami ellenáll a takarmányiparban használt kémiaileg agresszív és abrazív anyagok, például mészkő, foszfát, vitamin és savkiegészítők okozta igénybevételnek. A saválló kivitel csökkenti a felületre tapadást, megakadályozza a korróziót és minimalizálja a keresztzennyeződés kockázatát különböző gyártási tételek között. A berendezés belső méretei 1800 milliméter szélességű és 2500 milliméter belső hosszal rendelkeznek, tengelyén pedig hat nagyméretű, optimalizált geometriájú keverőlapát található. A lapátok alacsony fordulatszámon, de nagy nyomatékkal mozgatják az anyagot, biztosítva ezzel a teljes keverőtérben a gyors és egyenletes anyageloszlást.

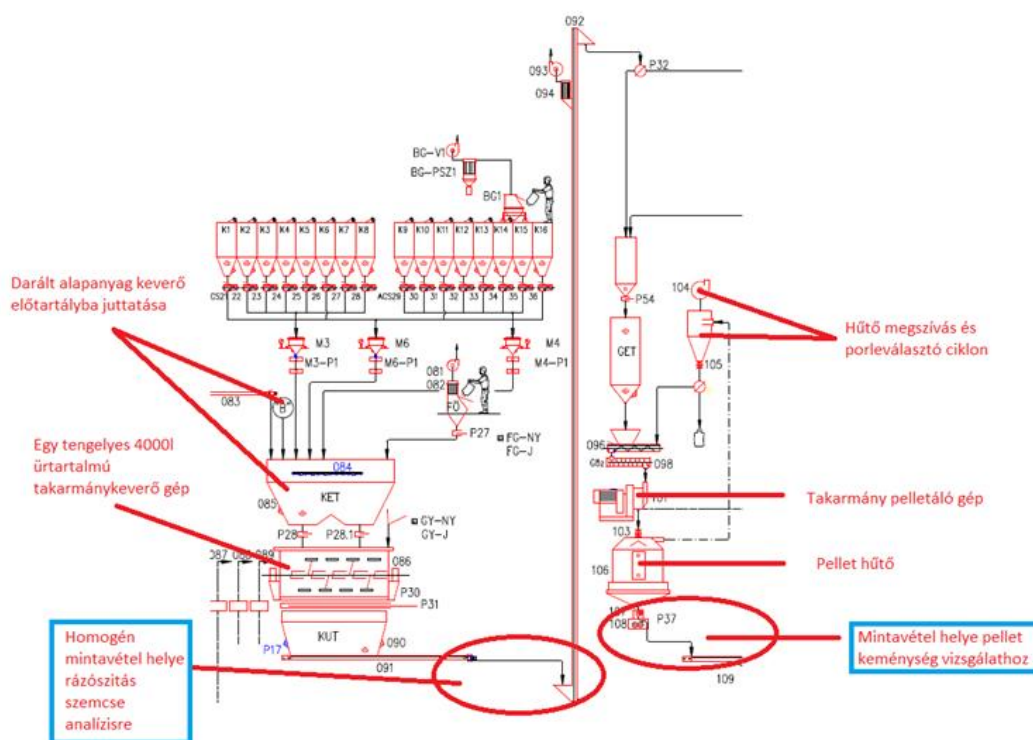
A keverés során a komponensek turbulens mozgása, valamint a pontosan meghatározott keverési idő garantálja a homogenitást, amelynek mértéke az takarmányipari törvény által van előírva.

A darálást követően az anyag (receptúra 81,09%-a) zárt rédlereken, elevátorokon és csővezetékeken keresztül kerül a keverő előtartályába, ahol a különböző adalékanyagok adagolása automatikusan, nagy pontosságú ipari mérlegekkel történik. Miután az adott gyártási tétel összes komponense bekerült az előtartályba, az anyag a keverőbe jut, ahol a keverési folyamat megkezdődik. A keverő ciklus végén a bombaejtő ajtón keresztül a keverék gyors és teljes ürítését a keverő utótartályába. A keverőből kikerülő anyag homogén, mintavételre és laboratóriumi szemcseanalízisre alkalmas állapotban kerül az utótartályba. A berendezés kialakítása lehetővé teszi a gyors ciklusidőt, az egyszerű tisztíthatóságot és a hosszú távú, biztonságos üzemeltetést még nagy igénybevétel mellett is. Az Amandus Kahl SMW 4000 típusú keverő tehát olyan korszerű, precíziós gép, amely a takarmányipar követelményeinek megfelelően biztosítja a gyártási folyamat stabilitását, a termék minőségét és az energiahatékony működést.

3.6. Kondicionálás, pelletálás és hűtés folyamata

A takarmánygyártás egyik legfontosabb és legösszetettebb folyamata a pelletálás, amelynek során a darált és homogenizált keverékből préssel stabil, nagy szilárdságú, egységes méretű granulátum készül. A pelletálás elsődleges célja, hogy a takarmány fizikai tulajdonságait úgy alakítsák, hogy az etetés során könnyen adagolható, jól emészthető, pormentes és hosszú ideig eltartható legyen. A folyamat több egymásra épülő technológiai lépésből áll: a kondicionálásból, a préslésből és a hűtésből. (10.ábra)

10.ábra: Keverés és pelletálás
 Forrás: Zala-Cereália folyamatábra, saját feliratozás



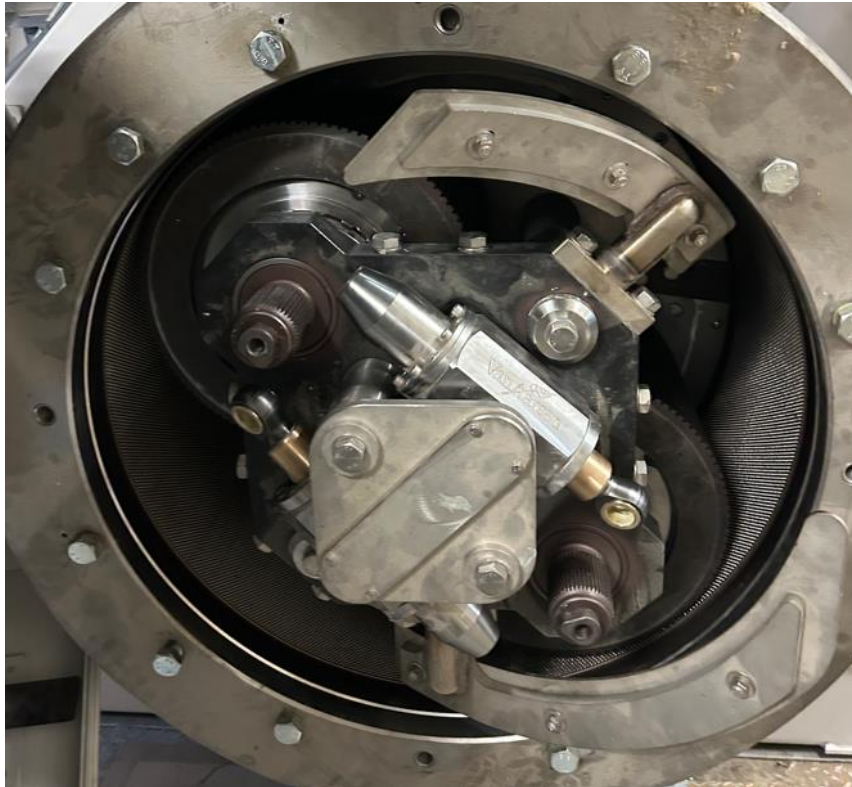
A kondicionálás során a darált takarmányhoz vízgőzt adagolnak, ami javítja az anyag hő- és nedvességtartalmát. Ennek hatására a keverék fellazul, rugalmasabbá válik, a keményítő részben zselatinizálódik, a fehérjék részben denaturálódnak, ami elősegíti a jobb kötést és az emészthetőséget. A hőkezelés részben sterilizáló hatású is, így a mikroorganizmusok és penészspórák száma csökken, ami növeli a takarmány higiéniai biztonságát. A kondicionálás során a takarmány hőmérséklete általában 70-75 °C-ra emelkedik, miközben a nedvességtartalom 1-3 %-kal nő. Ez a művelet kulcsszerepet játszik abban, hogy a préselés folyamatos és egyenletes legyen. A kondicionáláshoz szükséges gőzt az üzemben egy Certuss típusú gyorsgőzfejlesztő állítja elő. A berendezés földgáz-fűtésű, zárt rendszerű kazán, amely gyorsan képes nagy mennyiségű telített gőz előállítására. A kazánba jutó víz először vízlágyítón halad át, mivel a vízkeménység csökkentése nélkül a hőcserélő felületeken vízkőlerakódás alakulna ki, ami gátolná a hőátadást és megnövelné az energiafogyasztást. A lágyított és előmelegített víz ezután nagy nyomáson kerül a kazántérbe, ahol a gázgő által fejlesztett hő hatására gőzzé alakul. A gőzrendszerben a kondenzleválasztás kiemelten fontos szerepet kap. A gőzvezetékben az áramló gőz a hűvösebb csőszakaszokon részben lecsapódhat, ezért a rendszerbe kondenzleválasztókat építenek. Ezek eltávolítják a keletkező vizet, így csak száraz gőz kerül a kondicionálóba.

Nedves gőz alkalmazása kerülendő, mert a túlzott vízmennyiség miatt a pelletprés görgői megcsúszhatnak és granulálás minősége és kapacitása romlik, túlzott csúszás esetén a préselés folyamata kimenő oldalon megszakad viszont a beáramló anyag folyamatosan érkezik a présbe így ennek következtében a prés feltelítődik anyaggal (bemedvézik a gép). A száraz gőz ezzel szemben biztosítja a gyors és hatékony hőátadást, így a takarmány rövid idő alatt egyenletesen melegszik fel.

A kondicionálás a préselés előtt egy csigás forgóberendezésben történik, amelyet kondicionáló-csigának neveznek. Ennek belsejében egy tengely mentén elhelyezett terelőlapátok keverik és továbbítják a takarmányt. A gőz fűvókákon keresztül kerül be a csiga terébe, ahol közvetlenül érintkezik az anyaggal. A csiga forgása biztosítja, hogy a keverék folyamatosan mozgásban legyen, ezáltal a hő és a nedvesség eloszlása egyenletes maradjon. A kondicionáló végén a takarmány már kellően plasztikus, rugalmas és formázható, így tovább haladhat a pelletálóprés felé (11. ábra). A préselés során a kondicionált anyag a pelletprés belsejébe jut, ahol két rovátkolt palástú görgő és egy gyűrű alakú matrica dolgozik együtt. A matrica acélból készült, nagy szilárdságú alkatrész, amelyben számos furat található. Ezekon keresztül préselődik ki az anyag a görgők által kifejtett nyomás hatására. A furatok átmérője határozza meg a pellet méretét, míg a matrica falvastagsága és a furatok hossza az anyag áramlási ellenállását és a pellet sűrűségét befolyásolja. A matrica hasznos felületének aránya, vagyis a furatok és a teljes felület aránya általában 30-37 % körüli, ami biztosítja a megfelelő anyagáramlást és a gazdaságos energiafelhasználást.

11.ábra: Van Aarsen CU 900 típusú pelletprés prékamrája nyitott állapotban

Forrás: saját fotó (2025)



A prés belsejében a görgők folyamatosan a matrica belső felületén gördülnek. A nyomóerő hatására az anyag a furatokba préselődik, ahol súrlódás és nyíróhatás éri. A súrlódásból adódó hő elősegíti a szemcsék közötti kötés kialakulását, és növeli a pellet szilárdságát. A présben keletkező hőmérséklet rövid időre akár 70-80 °C is lehet. A gép automatikus kenőrendszerrel működik, amely folyamatosan adagolja a zsírt a görgők és a matrica csapágyaiba. Amennyiben a kenés nem működik megfelelően, a súrlódás miatt a gép néhány percen belül túlmelegedhet, a csapágyak Ez a Van Aarsen Cu 900 pelletprés óránként körülbelül 25 tonna takarmány feldolgozására képes. A présből kilépő pellet még forró és nedves, hőmérséklete elérheti a 70-80 °C-ot, nedvességtartalma pedig 16-18 % is lehet. Ilyen állapotban a termék még nem tárolható, mivel a magas hő és nedvesség gyorsan kedvezne a mikrobiológiai romlásnak, illetve a tárolás során beleszállna a tartályokba szállító kocsiba. Ezért a pelletek azonnal a hűtőrendszerbe kerülnek. A Geelen Counter Flow típusú hűtő az iparban elterjedt és korszerű berendezés, amely a pellet hőmérsékletét és nedvességtartalmát biztonságos szintre csökkenti. Működési elve az ellenáramú hőcserén alapul: a hűtő alsó részén hideg levegő áramlik felfelé, miközben felülről a forró pellet rétegesen süllyed lefelé. A levegő így fokozatosan melegszik, a pellet pedig egyenletesen hűl.

Az ellenáramú elrendezés nagy előnye, hogy a pelletek külső rétege nem hűl le túl gyorsan, így elkerülhető a repedés vagy a felületi szilárdulás, miközben belül még nedves maradna az anyag. A hűtés végére a pellet hőmérséklete 5-10 °C-kal haladja meg a környezeti levegő hőmérsékletét, nedvességtartalma pedig 10-12 % közé csökken.

A hűtő megfelelő beállítása kiemelten fontos, mivel a hűtés során nemcsak a hő, hanem a nedvesség is távozik a pelletből. Ha a hűtés túl intenzív, a termék túlszáradhat, ami rideggé és törékennyé teszi a pelleteket. Ilyenkor a mechanikai stabilitás romlik, a pellet morzsalékosabbá válik, és a szállítás, valamint az etetés során megnő a porfrakció aránya. A túlszáritás tehát kerülendő, mert a pellet elveszítheti a szükséges rugalmasságát, és a PDI-érték is csökkenhet. Az optimális nedvességtartalom körülbelül 12 %, ekkor a pellet szilárd, de nem törékeny, szerkezete zárt, és hosszú ideig eltartható. Ha a hűtés beállítása megfelelő, a nedvesség eloszlása egyenletes marad, a pelletek nem repednek meg, és a tárolás során sem hajlamosak penészesedésre. A megfelelően beállított hűtési idő és légmennyiség kulcsfontosságú, mert a túl gyors hűtés rideg, törékeny pelleteket eredményezne, míg a túl lassú hűtés növelné az energiafogyasztást és a visszanedvesedés kockázatát. A hűtés befejezése után a pelletek a hűtőből gravitációs úton a rostára vagy az osztályozó berendezésre kerülnek, ahol a törmelék és a finom por leválasztása történik. Ezután a mintavétel következik, amikor a kész termékből mintát vesznek laboratóriumi vizsgálathoz, például a Pellet Durability Index meghatározására. Ez a mutató jellemzi a pellet keménységét, kopásállóságát és fizikai stabilitását.

A teljes pelletálási folyamat a gőz előállításától a kondicionáláson és préselésen át a hűtésig, egymásra épülő, pontosan szabályozott technológiai rendszer. A gőz minősége, a kondicionálás hőmérséklete és időtartama, a prés paraméterei, valamint a Geelen hűtő beállításai mind együttesen határozzák meg a végtermék fizikai tulajdonságait, a gyártás energiahatékonyságát és a pellet hosszú távú eltarthatóságát. A megfelelően beállított hűtés biztosítja, hogy a pellet nedvességtartalma stabil, körülbelül 12 % maradjon, amely hosszú távon garantálja a takarmány minőségét, kezelhetőségét és biztonságos tárolhatóságát.

3.7. Minőségellenőrzés és minőségbiztosítási rendszer a takarmánygyártásban

A takarmánygyártás során a minőségbiztosítási és minőségellenőrzési rendszer alapvető szerepet tölt be a gyártási folyamat minden szakaszában. A rendszer célja, hogy a teljes termelési lánc, az alapanyag-átvételtől a késztermék kiszállításáig, folyamatosan ellenőrzött, nyomon követhető és dokumentált legyen.

A minőségbiztosítás így nem csupán egy ellenőrzési tevékenység, hanem egy komplex irányítási struktúra, amely biztosítja, hogy a gyártott takarmány megfeleljen a táplálóanyag- és biztonsági követelményeknek, valamint a vonatkozó jogszabályoknak és belső szabványoknak. A minőségbiztosítás első lépcsője az alapanyagok ellenőrzése és minősítése. A beérkező alapanyagokat minden esetben automatikus mintavételnek vetik alá közvetlenül a gabonát szállító járműről. A mintákból NIR (közeli infravörös spektroszkópiás) vizsgálat készül, amely percekben belül képes meghatározni az anyag legfontosabb beltartalmi értékeit: a nyersfehérje-, nyersrost-, nedvesség-, zsír- és keményítőtartalmat, valamint adott esetben a hamu- és energiatartalmat is. Ez a gyorsmérési technológia lehetővé teszi, hogy a minősítés azonnal megtörténjen, és az alapanyag csak akkor kerüljön a tárolórendszerbe, ha az előírásoknak megfelel.

A beltartalmi méréseket toxinanalízis egészíti ki, amely különösen a mikotoxinok, például a DON, aflatoxin és zearalenon, kimutatására irányul. Ezek az anyagok már kis mennyiségben is komoly egészségügyi kockázatot jelentenek az állatok számára, ezért az ilyen szennyezett tételek azonnal kizárásra kerülnek. Az alapanyagok ezután tételes azonosítást kapnak, és a laboratóriumi eredmények alapján kerülnek betárolásra a megfelelő silókba. Minden tétel adatai bekerülnek az üzemirányítási rendszerbe, így a későbbi gyártási folyamat során pontosan visszakövethető, hogy mely silóból, mely minőségű alapanyag került felhasználásra.

A gyártási szakaszban a minőségbiztosítás automatizált rendszeren keresztül valósul meg. A receptúrák összeállításánál figyelembe veszik az alapanyagok mért beltartalmi értékeit, a programozott receptúrákat pedig az üzemirányító szoftver automatikusan korrigálja az aktuális adatok alapján. Ez garantálja, hogy a gyártott takarmány összetétele mindig közel legyen a célértékhez, függetlenül az alapanyagok természetes változékonyságától.

A gyártási folyamat során kiemelt figyelmet kap a keresztzennyeződés elkerülése. A szemes alapanyagok, premixek, vitaminok, gyógyszerek, mikro- és makrokomponensek minden esetben vonalkódos azonosítással kerülnek be a gyártási rendszerbe. Ez a digitális nyomon követési rendszer kizárja, hogy egy alapanyag vagy adalék hibás silóba kerüljön. A poralapú összetevők betárolásánál külön ellenőrzési pontok gondoskodnak arról, hogy a keveréshez csak a megfelelő tételek kerüljenek felhasználásra. Az ilyen hibák kiküszöbölése elengedhetetlen, mivel akár egyetlen téves adagolás is az egész gyártási tétel selejtezését vonhatja maga után. A gyártási folyamat közben több szinten is zajlik minőségellenőrzés. A darálás, keverés, kondicionálás és pelletálás alatt a gyártási paramétereket folyamatosan figyeli a PLC-vezérlésű rendszer, a technológiai pontokon pedig mintavételek történnek.

A keverék és a pellet folyamatos NIR-vizsgálata biztosítja, hogy a termék beltartalmi összetétele megfeleljen a receptúrában előírt értékeknek. A rendszer képes a nyersfehérje, nedvesség, zsír, rost, valamint energiaértékek valós idejű meghatározására, és eltérés esetén automatikus korrekciós jelzést küld az operátornak.

A pelletálási szakaszban a fizikai minőség vizsgálata kerül előtérbe. A préselés után minden gyártási tételből mintát vesznek, és Holmen NHP100 (12. ábra) típusú pelletkeménység-mérést végeznek. Ez a berendezés a pellet Pellet Durability Index (PDI) értékét határozza meg, amely a pellet kopásállóságát és mechanikai stabilitását mutatja. A vizsgálat során 100 gramm pormentesített pelletmintát helyeznek a perforált mérőedénybe, ahol 70 mbar nyomású levegő áramlása forgatja és ütközteti a pelleteket meghatározott ideig (60-120 másodpercig). A vizsgálat végén a megmaradt minta tömegét gramm pontossággal visszamérik, és a PDI érték kiszámítható százalékban.

12. ábra: HOLMEN NHP 100 típusú pelletkeménység-vizsgáló berendezés laboratóriumi mérés közben Forrás: saját fotó (2025)



A PDI érték közvetlenül tükrözi a pellet fizikai minőségét, ugyanakkor közvetett módon a gyártástechnológia stabilitására is rámutat. A túl alacsony érték arra utal, hogy a kondicionálás, a gőz mennyisége vagy a présnyomás nem megfelelő, míg a túl magas érték rideg, nehezen emészthető pelletre utalhat. A gyártás közbeni mérések eredményei azonnal visszacsatolásként szolgálnak, lehetővé téve a paraméterek módosítását a következő gyártási tételhez. A porosodás és szemcsevesztés nemcsak technológiai, hanem gazdasági probléma is, mivel a finom por elsősorban a takarmány legértékesebb komponenseit, a premixeket, vitaminokat és ásványi anyagokat, tartalmazza. Ezek aránytalan elvesztése a késztermék tápértékének csökkenéséhez vezet, és hosszú távon az állatok teljesítményét is rontja. A Holmen-teszter alkalmazásával ez a probléma előre felismerhető, és a gyártási folyamat a megfelelő ponton beállítható, így a pellet keménysége és kopásállósága mindig az optimális tartományban marad. A gyártási folyamat minden mintavételéből és vizsgálatából származó adatot az üzem minőségirányítási rendszere rögzít, és automatikusan a gyártási tételhez kapcsol. Ennek köszönhetően a tételazonosítás és visszakövethetőség a teljes gyártási láncban biztosított. Minden legyártott tétel rendelkezik egyedi azonosítóval, amelyhez a receptúra, a gyártási paraméterek, a laboratóriumi mérési eredmények és az alapanyag-források is hozzá vannak rendelve. A gyártás lezárását követően a késztermékekből újabb mintavétel történik. A mintákat Holmen-méréssel és NIR-analízissel vizsgálják, majd a kapott adatok alapján történik a tétel minősítése. A minőségbiztosítási előírások szerint minden gyártási tételből archivált mintát is elraknak, amelyet legalább három hónapig megőriznek. Ez lehetővé teszi, hogy bármilyen reklamáció vagy utólagos vizsgálat esetén a gyártási tétel teljes minőségi dokumentációja visszakereshető legyen.

A laboratóriumi mérések eredményeit minden esetben az előírt formanyomtatványokon kell rögzíteni, a hatályos üzemvezetői utasításoknak és ellenőrzési terveknek megfelelően. Az elfogadási határértékeket az aktuális minőségbiztosítási protokoll határozza meg, és amennyiben egy eredmény eltér a megengedett tartománytól, a mintavételt és a vizsgálatot meg kell ismételni, a gyártási paramétereket pedig szükség szerint módosítani kell. A Zala-Cereália Kft. takarmánygyártásában alkalmazott minőségbiztosítási rendszer tehát a folyamatos adatgyűjtésre, az automatizált ellenőrzésre és a teljes körű nyomonkövethetőségre épül. Az alapanyag-átvételtől kezdve a gyártási és pelletálási folyamaton át egészen a késztermékek minősítéséig minden adat összekapcsolódik a gyártási tételazonosítóval, ezáltal az üzem bármikor vissza tudja követni, hogy mely alapanyagból, milyen technológiai beállítások mellett készült egy adott termék.

A rendszer így biztosítja, hogy a takarmány minden körülmény között megfeleljen a beltartalmi, fizikai és higiéniai előírásoknak, garantálva az állatok számára a stabil, biztonságos és magas tápértékű takarmányt, a gyártó számára pedig a megbízható, ellenőrizhető és fenntartható termelést.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Darálási eredmények értékelése

A vizsgálatok során négy különböző rostaméret mellett (2,5 mm; 3,0 mm; 3,5 mm; 4,0 mm) elemeztem a kalapácsos daráló teljesítményét megszívással és megszívás nélkül. A cél annak meghatározása volt, hogy a megszívás (ventilátoros levegőelszívás) milyen hatást gyakorol a darálási időre, a kapacitásra, valamint a motoráram- és fordulatszám-jelenségekre. 2,5 mm-es rostánál a megszívásos darálás 319 s-ig tartott, megszívás nélkül 470 s-ig, tehát a művelet 47 %-kal hosszabb ideig zajlott, ha nem volt levegőelszívás. A darálási kapacitás megszívással 17,6 t/h, megszívás nélkül 12,86 t/h, ami kb. 38 %-os teljesítménykülönbség. Megszívásos üzemben nem történt lefulladás, míg megszívás nélkül 5 alkalommal leállt a daráló. A görbék alapján a megszívás nélküli darálásnál (2. mellékelt) az áramfelvétel valamivel egyenletesebb, de a fordulatszám ingadozóbb, a folyamat így összességében kevésbé stabil. 3,0 mm-es rostánál a darálási idő megszívással 296 s, megszívás nélkül 455 s, tehát a levegőelszívás hiánya 53 %-kal hosszabb darálási időt eredményezett. A kapacitás megszívással 18,66 t/h, megszívás nélkül 13,22 t/h, azaz 41 %-kal alacsonyabb teljesítmény. Megszívás nélkül 2 lefulladás történt, megszívással viszont zavartalan működés volt. Az áramfelvétel görbéje megszívás nélkül továbbra is simább lefutású (2. mellékelt), viszont a fordulatszám-tartomány alacsonyabb maradt, ami csökkent anyagáramlást jelez. 3,5 mm-es rostával a darálás megszívással 249 s, megszívás nélkül 323 s volt, azaz a levegőelszívás nélküli üzem 30 %-kal hosszabb ideig tartott. A kapacitás megszívással 21,24 t/h, megszívás nélkül 17,44 t/h, ami 22 %-os teljesítménykülönbség. Megszívás nélkül 1 lefulladás történt, megszívással nem. A fordulatszám- és áramfelvétel-görbék alapján a megszívásos üzemnél a motor fordulatszáma magasabb szinten stabilizálódott, míg megszívás nélkül lassú csökkenés volt megfigyelhető. 4,0 mm-es rostánál a darálás megszívással 232 s, megszívás nélkül 284 s, tehát a művelet 22 %-kal hosszabb ideig tartott ventilátoros rásegítés nélkül. A kapacitás megszívással 22,36 t/h, megszívás nélkül 19,3 t/h, vagyis 16 %-kal kisebb. Megszívás nélkül itt is 1 lefulladás következett be, megszívás mellett viszont nem volt üzemzavar.

A diagramok szerint az áramfelvétel megszívás nélkül kiegyenlítettebb, ám a motor fordulatszáma alacsonyabb és a darálás dinamikája lassabb.

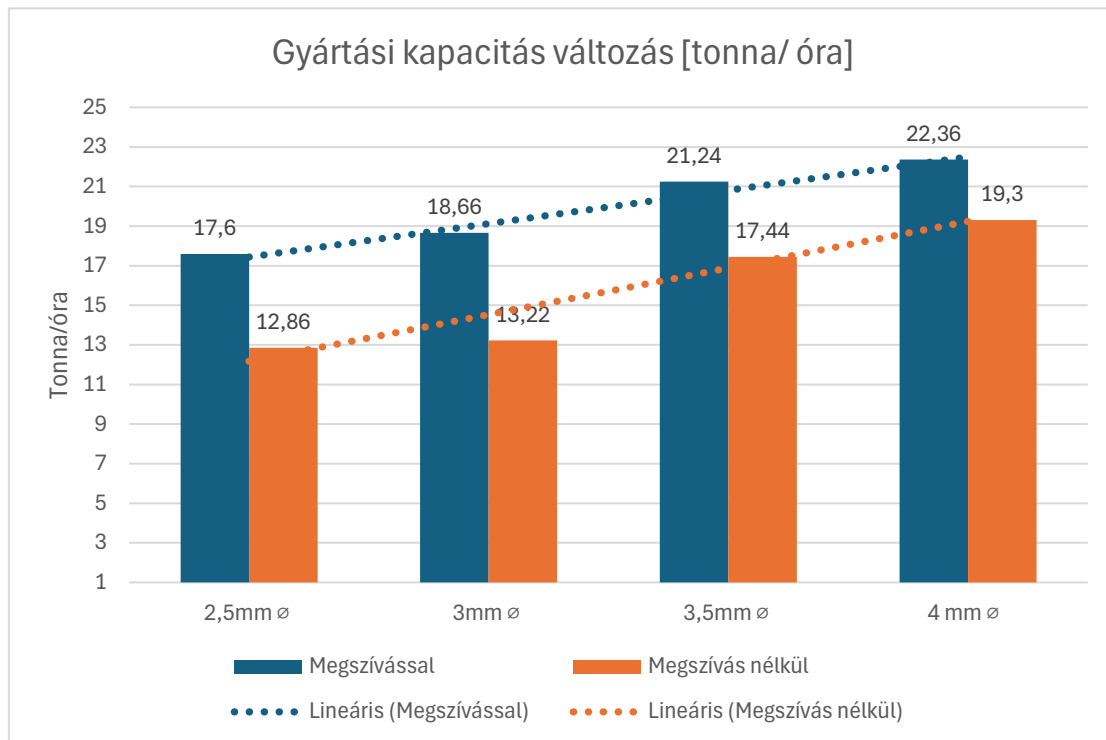
Összességében megállapítható, hogy a megszívásos üzemmód minden vizsgált rostaméret esetében rövidebb darálási időt, nagyobb kapacitást és kevesebb leállást eredményezett.

Az áramfelvétel megszívás nélkül valóban egyenletesebb, viszont a fordulatszám-csökkenés és a gyakori lefulladások miatt az üzemeltetés így kevésbé hatékony. A megszívás alkalmazása tehát növeli a darálási folyamat stabilitását, javítja az anyagáramlást, és egyértelműen pozitívan hat a gép terhelhetőségére.

4.2. Gyártási kapacitás értékelése

A vizsgálati eredmények alapján a gyártási kapacitás egyértelműen növekvő tendenciát mutat(13.ábra) a rosták átmérőjének növelésével mind megszívásos, mind megszívás nélküli darálás esetében. A csatolt diagram jól szemlélteti, hogy a legkisebb, 2,5 mm-es rostánál mért kapacitás megszívással 17,6 t/h, megszívás nélkül 12,86 t/h, míg a legnagyobb, 4,0 mm-es rostánál már 22,36 t/h, illetve 19,3 t/h értéket ért el. Ez azt jelenti, hogy a rostaátmérő növelésével a darálási folyamat teljesítménye folyamatosan emelkedik, ami összhangban áll a szakirodalomban leírtakkal: a nagyobb nyílású rosták kisebb szemcseméret-csökkentést és így alacsonyabb fajlagos energiaigényt eredményeznek, ezért nagyobb az anyagátbocsátás.

13. ábra: Gyártási kapacitás változása különböző rostaméreték és üzemmódok esetében (megszívással és megszívás nélkül) Forrás: saját mérés és saját szerkesztés (2025)



Mindkét üzemmód esetében megfigyelhető, hogy a megszívással történő darálás minden rostaméretnél magasabb teljesítményt biztosít, vagyis az anyagáramlás segítése a darálási kapacitásra közvetlenül pozitív hatással van. A különbség azonban a rostaméret növelésével fokozatosan csökken: míg 2,5 mm-nél a kapacitáskülönbség közel 38%, addig 4 mm-nél már csak 16% körüli.

A diagramon feltüntetett lineáris trendvonalak egyértelműen igazolják ezt a tendenciát. A megszívásos és megszívás nélküli görbék közeledése azt mutatja, hogy a rostaátmérő növelésével a két üzemmód teljesítménykülönbsége egyre kisebb. Ez arra utal, hogy a megszívás hatása elsősorban a finomabb, nagyobb ellenállású rosták esetében jelentős, míg a durvább rostáknál az anyagáramlás akadálya kisebb, így a ventilációs rásegítés szerepe csökken. Összességében megállapítható, hogy a darálási kapacitás növelésének legfontosabb tényezői a rostaátmérő és a megszívás alkalmazása. A két paraméter együttes hatása jól leírható lineáris összefüggéssel: a teljesítmény minden esetben nő a rostaátmérő növekedésével, és a megszívás minden beállítás mellett nagyobb áteresztőképességet eredményez. A trendvonalak konvergenciája pedig alátámasztja, hogy a daráló rendszer hatásfoka a durvább rosták esetében

közelít egymáshoz, vagyis a megszívás hatékonysági előnye főként a finomabb őrléseknél érvényesül.

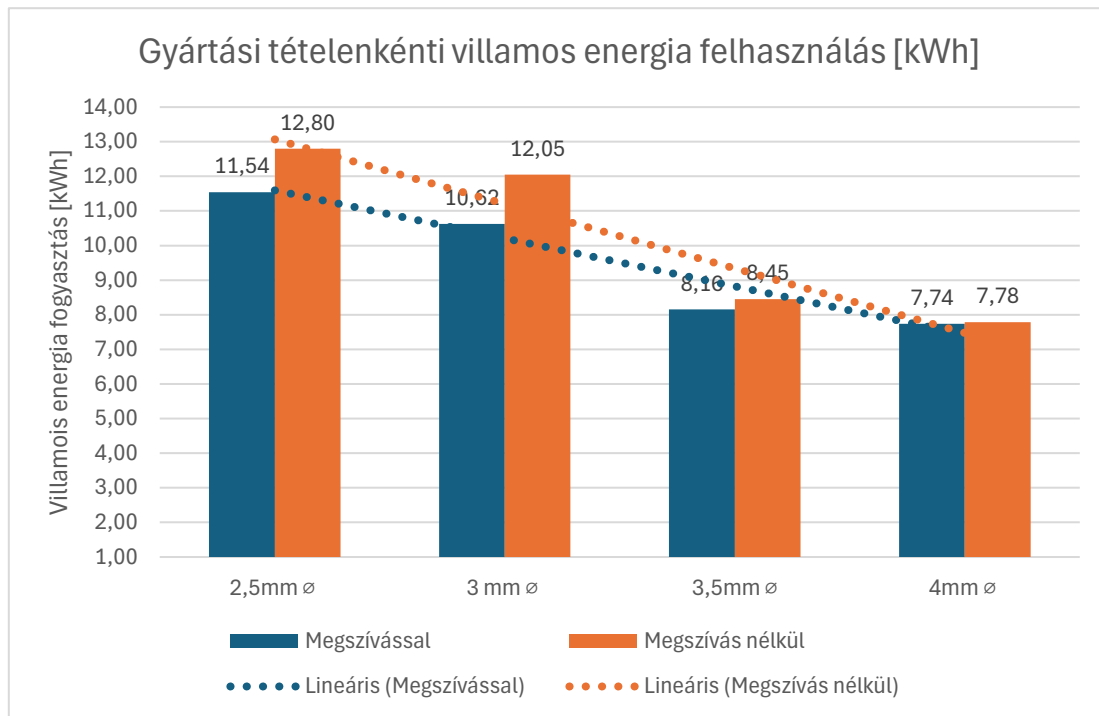
4.3. Villamosenergia felhasználás és gyártási villamosenergia költség értékelése

A villamosenergia felhasználás a darálási folyamat egyik legfontosabb jellemzője, mivel közvetlenül meghatározza a berendezés energetikai hatékonyságát. A kísérletek során minden rostaméret mellett két üzemmódot vizsgáltam: megszívással és megszívás nélkül. A villamos energiafelhasználás értékei a darálási idő és a motoráram alapján kerültek meghatározásra. A számítás alapját a PLC által rögzített valós idejű adatok képezték: a vezérlőszoftver másodpercenkénti mintavételezéssel rögzítette a motor fordulatszámát és az áramfelvételt. Az egyes kísérleteknél a motor teljesítményét az

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad [\text{W}] \quad (1)$$

összefüggés szerint határoztam meg, majd az időbeli integrálással kaptam meg az adott darálási ciklus energiafelhasználását kilowattórában. (14.ábra) Fontos megjegyezni, hogy a megszokásos üzemmódban a számítás tartalmazta a megszívó ventilátor 11 kW névleges teljesítményének fogyasztását is, mivel ez a berendezés a darálóval egy időben működött, így a folyamat teljes energiaigényéhez hozzáadódott.

14 ábra: Villamosenergia felhasználás változása különböző rostaátméretek és üzemmódok esetében (megszívással és megszívás nélkül) Forrás: saját mérés és saját szerkesztés (2025)



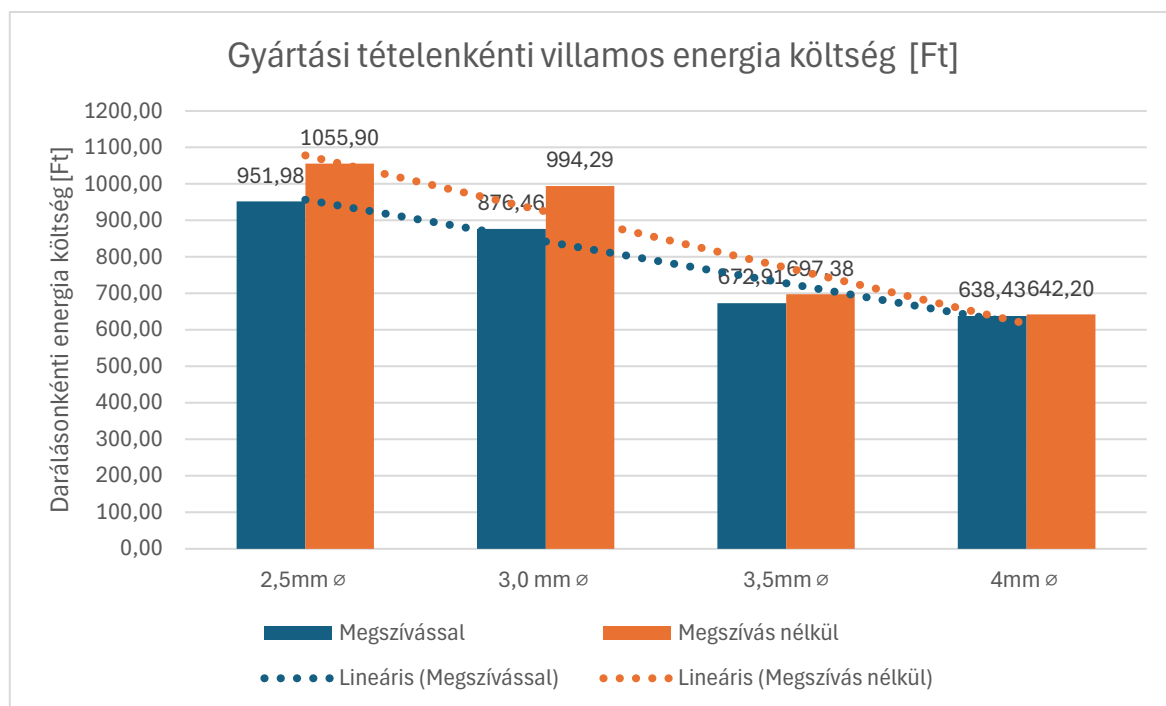
A diagram adatai alapján megállapítható, hogy a villamosenergia felhasználás a rostaátmérő növelésével mindkét üzemmódban csökkenő tendenciát mutat. A legfinomabb, 2,5 mm-es rostánál a fogyasztás megszívással 11,54 kWh, megszívás nélkül 12,80 kWh, míg a legnagyobb, 4 mm-es rostánál már 7,74 kWh és 7,78 kWh volt. Ez arra utal, hogy a durvább őrléshez kevesebb energia szükséges, mivel kisebb a mechanikai ellenállás és a kalapácsok által végzett fajlagos munka.

Az adatokból látható, hogy a megszívásos üzemmód a ventilátor többletfogyasztása ellenére is minden rostaátmérőnél alacsonyabb teljes fajlagos energiafelhasználást eredményezett. Ennek oka, hogy a légáram segíti az anyagáramlást, csökkenti az őrlőtérben a recirkulációt, és ezzel a motor terhelését is mérsékli. A különbség legnagyobb a 2,5 mm-es rostánál, ahol a megszívásos üzem 1,26 kWh-val kevesebb energiát igényelt, míg a 4 mm-es rostánál a két érték gyakorlatilag megegyezett. A rostaátmérő növelésével tehát a megszívás energiahatékonysági előnye fokozatosan csökken. A diagramon feltüntetett lineáris trendvonalak is ezt a tendenciát támasztják alá: a két görbe közel párhuzamos lefutású, azonban a megszívásos görbe végig alacsonyabb értékszinten helyezkedik el, és a trendvonalak a nagyobb rostaátmérők felé egymáshoz konvergálnak.

Ez a jelenség jól összhangban áll a gyártási kapacitás változásával is, hiszen a nagyobb rostáknál az anyagáramlás akadálya kisebb, így a ventilátoros rásegítés szerepe mérséklődik.

A villamosenergia fogyasztás értékelését követően a darálási folyamat közvetlen villamosenergia költségét is meghatároztam. A számítás a mért energiafelhasználási értékek és az átlagos villamosenergia ár (82,46 Ft/kWh) alapján történt. A megszívásos üzemmód esetében az előzőekhez hasonlóan a megszívó ventilátor fogyasztása is beleszámításra került, mivel ez a rendszer teljes energiaigényének részét képezi. (15. ábra)

15.ábra: Gyártási villamosenergia költség változása különböző rostaméreték és üzemmódok esetében (megszívással és megszívás nélkül) Forrás: saját mérés és saját szerkesztés (2025)



A gyártási villamosenergia költség a rostaátmérő növelésével folyamatosan csökkent, ami jól összhangban áll az energiafogyasztás csökkenő trendjével. A legkisebb, 2,5 mm-es rostánál a költség megszívással 951,98 Ft, megszívás nélkül 1 055,90 Ft volt, míg a legnagyobb, 4 mm-es rostánál ezek az értékek 638,43 Ft és 642,20 Ft között alakultak. A különbség tehát a finomabb őrléseknél a legnagyobb, közel 10 százalék, míg a durvább rosták esetén gyakorlatilag kiegyenlítődik. A lineáris trendvonalak a költségdiagramon is egyértelműen jelzik, hogy mindkét üzemmódnál csökkenő tendencia figyelhető meg, azonban a megszívásos üzemmód görbéje végig alacsonyabb értéktartományban helyezkedik el.

A két trendvonal a nagyobb rostaátmérők irányába fokozatosan egymáshoz közelít, ami arra utal, hogy a megszívás és a megszívás nélküli üzem közötti költségkülönbség fokozatosan minimalizálódik. Ha a gyártási kapacitást is figyelembe vesszük, jól látszik, hogy a nagyobb rostaátmérőkkel elért magasabb anyagátbocsátás közvetlenül hozzájárul a fajlagos költségek csökkenéséhez. A megszívásos darálás a teljes ciklusra vetítve kisebb összköltséggel járt, mivel a ventilátor többletfogyasztását ellensúlyozta a rövidebb darálási idő és a nagyobb teljesítmény.

Összességében megállapítható, hogy a rostaátmérő növelésével mind az energiafogyasztás, mind a költség csökkenő tendenciát mutat, a megszívás alkalmazása pedig a teljes vizsgálati tartományban kedvező energetikai és gazdasági hatást fejt ki.

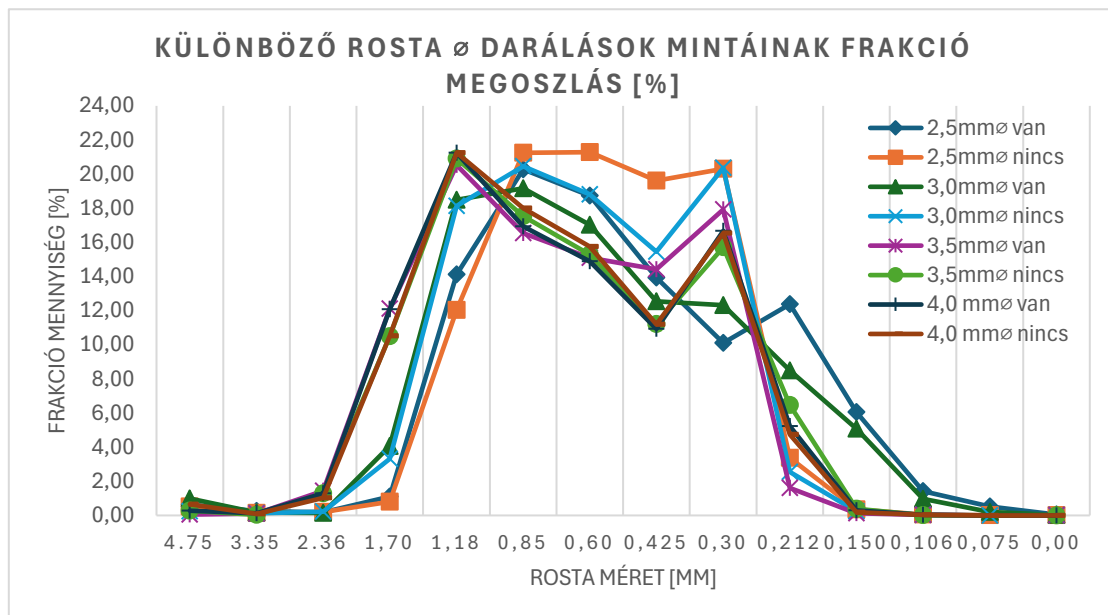
A trendvonalak közeledése arra utal, hogy a megszívás energia és költségmegtakarító előnye elsősorban a finomabb őrlési tartományban érvényesül, míg a durvább darálásoknál az eltérés a két üzemmód között fokozatosan kiegyenlítődik.

4.4. Darálás utáni szemcseméret-eloszlás és D50-értékek értékelése

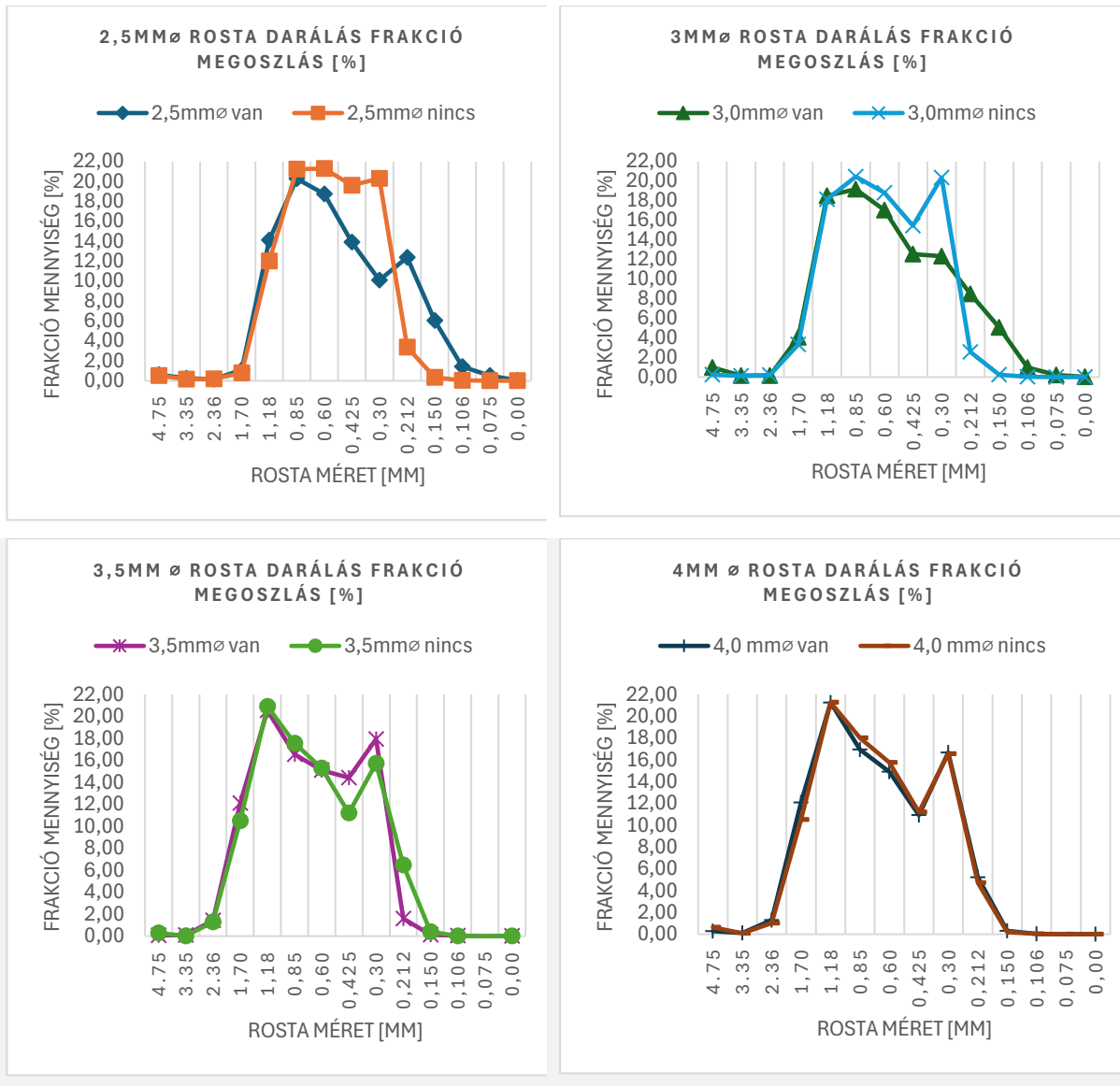
A darálási folyamat hatásának vizsgálatához a különböző rostamérettekkel előállított minták szemcseméret-eloszlását és azok jellemző középértékeit (D50) elemeztem. A szemcseméret-analízis során a mintákat frakciókra bontva, rostasoron keresztül választottam szét, majd minden frakció tömegarányát százalékosan meghatároztam. A mérések alapján az egyes rostaátmérők és üzemmódok (megszívással, illetve megszívás nélkül) szemcseeloszlása a „Mintánkénti frakciómegoszlás [%]” diagramon látható.

A grafikonon jól megfigyelhető, hogy a frakciógörbék alakja hasonló lefutású (16. ábra), ami azt mutatja, hogy a darálási folyamat stabil és ismételhető volt. A különbségek elsősorban a görbék maximumának helyzetében és meredekségében jelentkeznek. A megszívásos darálás minden esetben kissé durvább eloszlást eredményezett, vagyis a finom frakciók aránya kisebb, a nagyobb szemcsék aránya pedig magasabb volt. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy a légáram a darálási zónából hamarabb elszívja a finom részecskéket, csökkentve ezzel a túlörlés lehetőségét, ami a szemcsék átlagos méretének növekedéséhez vezet (17. ábra).

16.ábra: Mintánkénti frakciómegoszlás különböző rostamérettek és üzemmódok megszívással [van], megszívás nélkül [nincs] esetében összesített diagramm Forrás: saját mérés és saját szerkesztés (2025)



17.ábra Mintánkénti frakciómegoszlás rostaméretenként megszívással [van], megszívás nélkül [nincs] és üzemmódok esetében . Forrás: saját mérés és saját szerkesztés (2025)

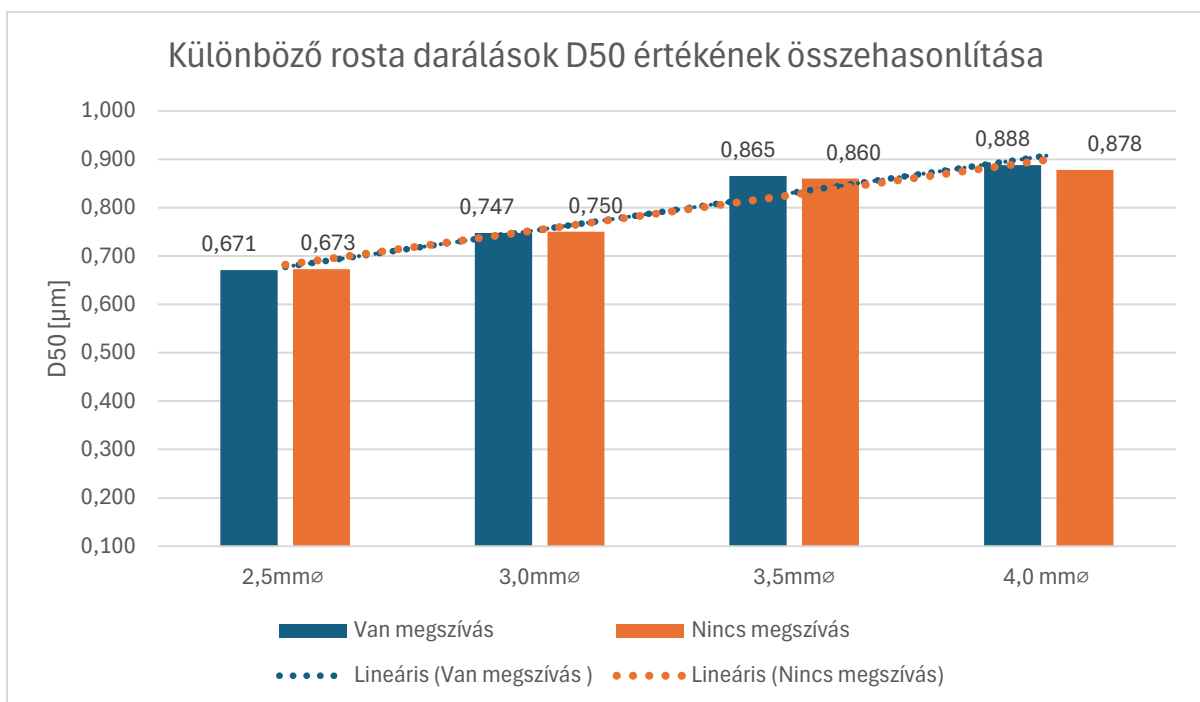


A D50 érték a szemcseeloszlás középpontját jellemzi, vagyis azt a szemcseméretet, amelynél a minta tömegének 50 százaléka finomabb, 50 százaléka pedig durvább részecskékből áll. Az eredményeket a „Szemcseméret-analízis D50” diagram szemlélteti (18.ábra). A mért értékek alapján a D50 minden esetben a rostaátmérő növekedésével emelkedett, ami egyértelműen lineáris összefüggést mutat. A legkisebb, 2,5 mm-es rostánál a D50 értéke 0,67 mm, míg a 4,0 mm-es rostánál már 0,89 mm volt. Ez a növekedés jól szemlélteti, hogy a darálás finomsága pontosan szabályozható a rostaátmérő változtatásával. A mérések azt is igazolták, hogy minden rosta méret esetében a megszívósos üzemmód mellett a D50 érték magasabb volt, mint megszívás nélkül.

Ez azt jelenti, hogy az elszívás alkalmazása enyhén durvább, de egyenletesebb szemcseméret-eloszlást eredményezett. A trendvonal lefutása alapján a megszívással végzett darálásoknál a D50 növekedése lineárisan követte a rostaátmérő növekedését, ami az üzem stabil és jól szabályozható működését jelzi.

Az eredmények jól összhangban állnak a szakirodalomban (Reece és mtsai, 1986) közölt adatokkal, ahol a geometriai középátmérő szintén lineárisan nőtt a rostanyílás méretével. Az irodalmi adatok szerint 3,18 mm-es rostán 679 μm , 6,35 mm-esen 987 μm , míg 9,53 mm-es rostán 1289 μm volt az átlagos szemcseméret. A saját mérések ennél finomabb tartományban, 0,67–0,89 mm között mozogtak, de az összefüggés iránya és lineáris jellege teljes mértékben egyezik az irodalmi trenddel.

18. ábra: Szemcseméret-analízis D50 értékei különböző rostaméreték és üzemmódok esetében
 Forrás: saját mérés és saját szerkesztés (2025)



A szakirodalmi vizsgálatokhoz hasonlóan megfigyelhető, hogy a finomabb őrlések kedvezően befolyásolhatják a takarmány homogenitását és emészthetőségét, míg a durvább szemcseméret javíthatja a bélperisztaltikát és a takarmányfelvételt. Reece és munkatársai eredményei szerint a legfinomabb (3,18 mm) és a legdurvább (9,53 mm) őrlés egyaránt jobb testtömeg-gyarapodást és takarmányértékesítést eredményezett, mint a közepes (6,35 mm) darálás.

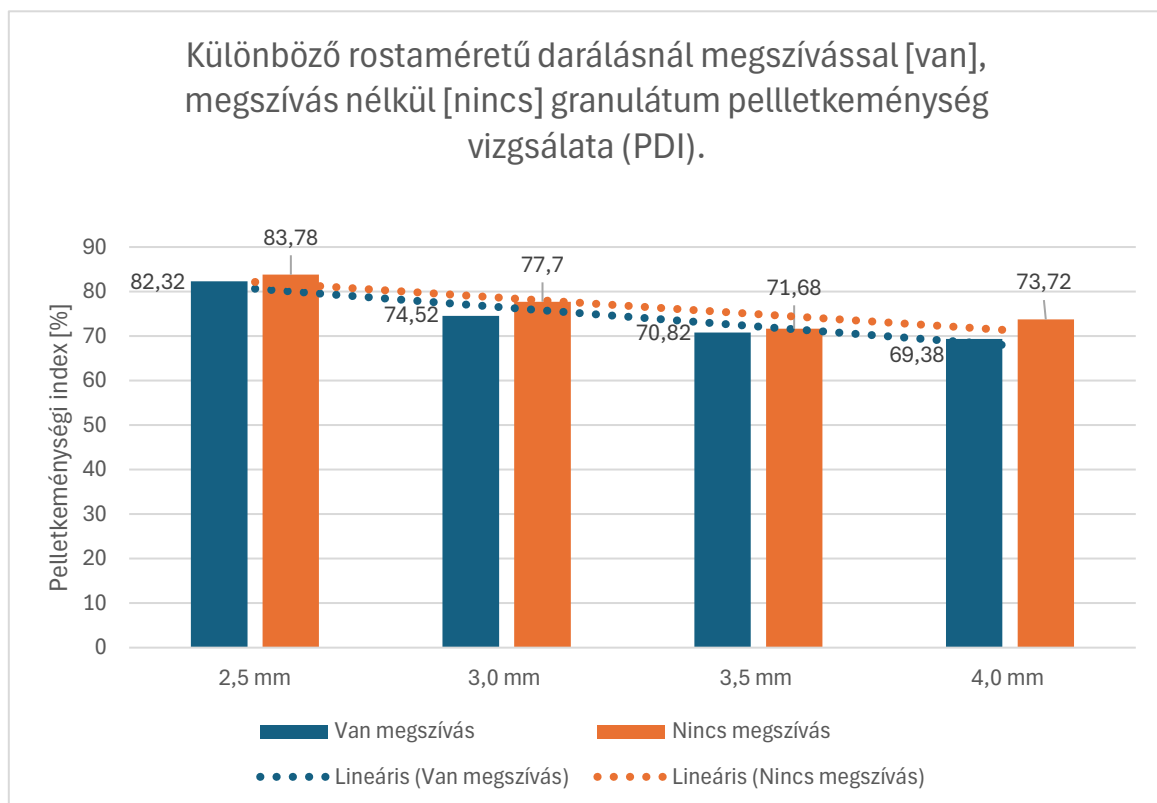
A jelen vizsgálatban a finom és közepes darálások közötti különbség szemcseméretben kisebb volt, de a megszívás hatására bekövetkező finomságcsökkenés várhatóan kedvezően hat a brojler takarmány fizikai tulajdonságaira és emészthetőségére.

Összességében elmondható, hogy a rostaátmérő növelésével a darálék szemcsemérete lineárisan növekszik, a megszívás alkalmazása pedig enyhe durvulást eredményez, ugyanakkor javítja az őrlemény homogenitását. A trendvonalak stabil növekedése alátámasztja, hogy a daráló beállításai és működése pontosan reprodukálható és jól szabályozható, ami az ipari takarmánygyártás szempontjából alapvető követelmény.

4.5. Pelletkeménység vizsgálati eredmények értékelése

A pelletkeménységi vizsgálatok eredményei alapján egyértelműen megfigyelhető, hogy a rostaátmérő növelésével a pellet keménysége csökkenő tendenciát mutat. A diagramon látható trendvonal is ezt támasztja alá (19.ábra): a legfinomabb, 2,5 mm-es rostánál előállított pellet rendelkezett a legmagasabb keménységi indexszel (82,32–83,78), míg a 4,0 mm-es rostánál mért értékek már 69,38–73,72 között alakultak. Ez a jelenség összhangban van azzal, hogy a finomabb darálás során nagyobb fajlagos felületű szemcsék jönnek létre, amelyek a pelletálás során erősebb mechanikai kötést és homogénebb szerkezetet biztosítanak. Ennek következtében a kisebb szemcseméretből képzett pelletek kevésbé morzsolódnak, szilárdabbak, és a gyártási folyamat során kevesebb törött pellet keletkezik.

19. ábra: Különböző rostaméretű darálás hatása a pellet keménységi indexére (PDI) megszívásos és megszívás nélküli üzemmódban Forrás: saját adat, saját szerkesztés (2025)



Rostaméreten belül a megszívás nélküli darálásból származó pellet rendre nagyobb keménységet mutatott, mint a megszívásos üzemmódban készült. Ez valószínűleg azzal magyarázható, hogy megszívás nélkül a darálék átlagos szemcsemérete kisebb, és a részecskék közti kötés szorosabb a pelletálás során.

A megszívásos üzemmód ezzel szemben durvább szemcseeloszlást eredményez, ami kissé porózusabb, lazább pelletet ad. Ugyanakkor a megszívás előnye, hogy az aprítás hatékonysága és a gyártási kapacitás magasabb, így az ipari körülmények között gazdaságosabb üzemeltetést tesz lehetővé, még ha a pelletkeménység kis mértékben csökken is. Az eredmények részben cáfolják az Amerah et al. (2007) által közölt megállapítást, miszerint a szemcseméret nincs jelentős hatással a pellet tartósságára és mechanikai tulajdonságaira. A jelen vizsgálatban ugyanis kimutatható volt, hogy a finomabb őrlémből készített pelletek szilárdsága és törésállósága magasabb, tehát a szemcseméret ténylegesen befolyásolja a fizikai pelletminőséget. Ugyanakkor az eredmények részben megerősítik Reece et al. (1986) következtetéseit, akik azt találták, hogy bár a durvább őrlés esetében a pelletminőség enyhén javult, a különbség nem volt nagymértékű. A mostani kísérletben is hasonló tendencia figyelhető meg: a különböző rosták között a pelletkeménységi értékek közötti eltérés mérsékelt maradt, de a trend egyértelműen lefelé mutat a rostaátmérő növekedésével. Összességében a vizsgálat rávilágított arra, hogy a pelletkeménység és a szemcseméret között közvetlen összefüggés áll fenn. A finomabb darálás jobb pelletminőséget eredményez, azonban a gyakorlatban a gazdasági hatékonyság, a darálási energiaigény és a gyártási teljesítmény optimalizálása miatt a túlzottan finom őrlés nem minden esetben indokolt. A megszívásos darálás tehát kompromisszumot kínál a pelletminőség és az energiahatékonyság között, ami az ipari takarmánygyártás szempontjából kiemelt jelentőségű.

4.6. Gyártási költségek és a darálás energetikai részarányának értékelése

A takarmánygyártás során a különböző költségtényezők jelentős mértékben befolyásolják az előállított termék önköltségét. A gyártási folyamat energiaintenzív jellegéből adódóan a villamosenergia-felhasználás és annak költsége az üzem gazdaságosságát alapvetően meghatározza. Az alábbi elemzés egy magyarországi takarmánykeverő üzem 2024–2025 közötti szűkített gyártási költségadataira épül, éves átlagértékek alapján.

A 20.ábra az üzem egyéves működésének főbb energia- és költségmutatóit tartalmazza. A vizsgált időszakban az átlagos havi termelés 5 942 tonna, az átlagos havi villamosenergia-felhasználás 156 493,27 kWh, míg az átlagos gázfelhasználás 27 379,82 m³ volt.

A havi gyártási költségek 5–6 Ft/kg (azaz 5 000–6 000 Ft/t) között alakultak, amely tartalmazza az áram, gáz, bér, karbantartás, csomagolóanyag, javítás, víz, valamint vizsgálati díj költségtételeit is.

20.ábra: Egy éves szűkített gyártási költség megoszlása takarmánykeverő üzemben (2024–2025) Forrás: saját szerkesztés, üzemi adatok alapján (2024–2025)

Egy éves szűkített gyártási költség megoszlása takarmánykeverő esetén 2024-2025.													
Év	202409	202410	202411	202412	202501	202502	202503	202504	202505	202506	202507	202508	Átlag
Áram [Ft]	9 760 898	10 647 858	15 282 252	12 354 766	11 075 735	10 773 120	10 850 840	12 066 171	12 486 301	10 394 993	10 990 363	10 662 666	
Gáz [m3]	5 172 027	6 337 884	6 237 000	8 047 120	7 514 303	7 630 590	6 152 916	6 079 078	6 048 809	5 283 123	5 423 098	4 835 049	
tonna/hó	4810	6055	5872	5415	5353	5916	5707	6280	6592	6075	6627	6598	5942
áram	2,03	1,76	2,60	2,28	2,07	1,82	1,90	1,92	1,89	1,71	1,66	1,62	1,93
bérlétségek	1,68	1,46	1,37	2,13	1,75	1,40	1,49	1,54	1,54	1,47	1,34	1,28	1,52
csomagoló anyag	0,04	0,02	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03
egyéb	0,01	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,30	0,24	0,03	0,07	0,06	0,08
gáz	1,08	1,05	1,28	1,49	1,40	1,29	1,08	0,97	0,92	0,87	0,82	0,73	1,08
javítás	1,11	0,34	0,34	0,41	0,47	0,12	0,15	0,17	0,26	0,41	0,58	0,28	0,32
munkabérlés	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
víz	0,08	0,08	0,08	0,08	0,12	0,07	0,07	0,08	0,06	0,07	0,08	0,06	0,08
vizsgálati díj	0,01	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,09	0,08	0,12	0,00	0,06	0,04
Üzemi költség Ft/tn	6,06	4,76	5,77	6,48	5,89	4,78	4,78	5,11	5,05	4,73	4,59	4,11	5,09
Megtermelt áram KWH (napelem)		13 790	6 530	2 070	1 600	5 750	17 300	21 550	20 630	24 270	23 170	29 040	15 063,64
Áram KWH		137 765	134 949	129 789	155 281	153 632	145 475	152 326	157 045	125 566	137 383	126 515	141 429,64
Összes áram [kWh]		151 555	141 479	131 859	156 881	159 382	162 775	173 876	177 675	149 836	160 553	155 555	156 493,27
Gáz M3		28 423	31 336	31 286	32 062	31 086	27 352	28 360	27 236	22 193	21 760	20 084	27 379,82
Áram KWH/tonna		25,03	24,09	24,35	29,31	26,94	28,52	27,69	26,95	24,66	24,23	23,57	25,94
előző hónaphoz változás		95%	96%	101%	120%	92%	106%	97%	92%	98%	97%	97%	0,99
Gáz M3/tonna		4,35	4,63	4,79	5,04	4,43	4,21	4,28	4,02	3,58	3,23	2,99	4,14
előző hónaphoz változás		96%	107%	103%	105%	86%	95%	102%	94%	89%	90%	93%	0,97
Villamos energia beszerzési ár [Ft/kWh]		77,29	113,24	95,19	71,33	70,12	74,59	79,21	79,51	82,79	80,00	84,28	82,50

A táblázat alapján látható, hogy az üzem energiaellátásának költségei jelentős ingadozást mutatnak az év során, ami egyrészt a szezonális termelési volumenek, másrészt az energiaárak változásának következménye. A villamosenergia beszerzési ára átlagosan 82,5 Ft/kWh volt, de az egyes hónapok között akár 70 és 113 Ft/kWh között is változott. A termeléshez szükséges energiahatékonyságot tovább javítja, hogy az üzem napelemmel is termel villamos energiát, havi átlagban mintegy 15 000 kWh mennyiségben, ami részben fedezi a belső fogyasztást.

A gyártási folyamaton belül a leggyakrabban alkalmazott darálási beállítás a 3,5 mm-es rostával, megszívással végzett darálás, amely a teljes termelés döntő részét adja. A korábbi számítások alapján a daráló energiaigénye 8,16 kWh / 2 t, azaz 4,08 kWh/t fajlagos érték, amelyet a darálások közötti 30 másodperces üresjárat figyelembevételével 4,57 kWh/t-ra korrigáltam. Ezzel számolva a darálás havi energiafelhasználása 27 164 kWh, amely az üzem teljes havi villamosenergia-felhasználásának 17,4%-át teszi ki.

Ez az arány jól mutatja, hogy a kalapácsos darálás önmagában is jelentős fogyasztó az üzemi folyamatban, és az energetikai optimalizálás szempontjából kulcsfontosságú. A számított havi energiaigény alapján a darálási művelet éves szinten közel 326 000 kWh villamos energiát használ fel.

Az átlagos 82,5 Ft/kWh beszerzési ár mellett ez mintegy 26,9 millió Ft éves villamosenergia-költséget jelent. A darálási folyamat tehát a teljes villamosenergia-költségből megközelítőleg 17–18% részesedést képvisel. Ez az arány összhangban van az üzem energiafelhasználási szerkezetével, ahol a pelletálás és a keverés után a darálás a harmadik legnagyobb energiaigényű művelet. Mivel a darálás elektromos terhelése nagy teljesítményű (200 kW) motorral történik, a villamosenergia-hatékonyság javítása – például a fordulatszám-szabályozás, optimális rosta és megszívás kombinációjának kiválasztásával – érdemi költségcsökkentési lehetőséget kínál. A szűkített gyártási költség szerkezet alapján megállapítható, hogy az üzem energiafelhasználása és termelési volumene között közvetlen összefüggés van. A havi tonnánkénti villamosenergia-felhasználás 24–29 kWh/t tartományban mozgott, ami a darálási részarány figyelembevételével reális értéket képvisel. Az éves átlagos üzemeltetési költség 5,09 Ft/kg, azaz 5 090 Ft/t, ami jól mutatja, hogy a villamos energia továbbra is az egyik legmeghatározóbb tényező a gyártás önköltségében.

Összességében elmondható, hogy a kalapácsos darálás az üzem teljes villamosenergia-felhasználásának körülbelül egyötödét képviseli, éves szinten közel 27 000 kWh/hó fogyasztással és 2,24 millió Ft/hó költséggel. Az adatok azt is mutatják, hogy a darálási energiaigény optimalizálása – például a megszívás hatékonyabb vezérlésével vagy a fordulatszám-szabályozás finomításával – jelentős gazdasági előnnyel járhat a takarmánygyártás egészének költség szerkezetében.

5. Következtetések és javaslatok

A vizsgálatok egyértelműen igazolták, hogy a kalapácsos darálás hatékonyságát elsősorban a rostaátmérő és a megszívás együttes hatása határozza meg. A megszívásos üzemmód minden esetben kedvezőbben befolyásolta a darálás energetikai és technológiai mutatóit, ezáltal csökkentette a termelés fajlagos energiaigényét és javította a gép működési stabilitását. A levegőáram nem csupán a darálás fizikai folyamatát segíti, hanem a technológiai lánc további szakaszaira is pozitív hatással van, mivel az egyenletesebb anyagáramlás javítja a keverés és a pelletálás minőségét is.

Elméleti szempontból az eredmények rámutatnak arra, hogy a darálási folyamat és a levegőáramlás közötti kapcsolat nem lineáris, hanem a légsebesség, a rotor fordulatszám és a rostaátmérő együttes függvénye. A mérések során tapasztalt trendek alapján a megszívás hatékonysága a finomabb őrlések tartományában a legnagyobb. Ezen összefüggések részletes elemzése lehetőséget ad a folyamat pontos matematikai leírására, amely a jövőbeni doktori kutatás egyik meghatározó iránya lehet. Ennek keretében érdemes a légsebesség, az energiafelvétel és a szemcseméret eloszlás kapcsolatát termodinamikai és áramlástanai modellekkel vizsgálni, például numerikus áramlástanai szimulációk (CFD) és valós idejű érzékelési adatok segítségével.

Gyakorlati szempontból a kutatás eredményei közvetlenül alkalmazhatók a takarmánygyártó üzemek működésében. A megszívás szabályozásának automatizálása, például nyomáskülönbség vagy tömegáram alapú vezérléssel, lehetővé tenné a ventilátor teljesítményének dinamikus szabályozását, amellyel további energia megtakarítás érhető el. Célszerű a daráló motor fordulatszámát is szabályozhatóvá tenni, mivel a finomabb darálások esetében alacsonyabb fordulattal mellett kedvezőbb energiahatékonyság érhető el a termékminőség romlása nélkül.

A takarmányozási gyakorlat szempontjából az irodalmi források és a mérések egyaránt alátámasztják, hogy a brojlercsirkék, például a Ross 308 hibrid, természetes teljesítménymutatói nem változnak számottevően a különböző szemcseméretű takarmányok etetésekor. Ennek alapján gazdaságilag nem indokolt a túlzottan finom darálás, mivel az növeli az energiafelhasználást anélkül, hogy javítaná a hozamokat.

A darálási cél tehát nem a legkisebb szemcseméret elérése, hanem az optimális energiafelhasználás és gyártási teljesítmény közötti egyensúly kialakítása. Ezt a megszívásos üzemmód hatékonyan támogatja, mivel stabilabb működést és kevesebb túlőrlést biztosít.

Gazdasági oldalról a kalapácsos darálás az üzem teljes villamosenergia-felhasználásának mintegy egyötödét teszi ki, ami éves szinten több mint háromszázezer kilowattóra fogyasztást jelent. A megszívásos üzemmód alkalmazásával a darálás energiaigénye jelentősen csökkenthető, amely éves szinten akár több tízmillió forintos megtakarítást eredményezhet. A ventilátor és a daráló motor frekvenciaváltós, összehangolt vezérlése tovább növelheti a rendszer energiahatékonyságát. Emellett a csökkent hőfejlődés és az egyenletes anyagáramlás mérsékli a gép kopását, meghosszabbítja a rosta és a kalapács élettartamát, és csökkenti a karbantartási költségeket.

Fejlesztési javaslatként indokolt az automatikus légmennyiség-szabályozás bevezetése, amely a daráló aktuális terhelése alapján módosítja a ventilátor teljesítményét. Ezzel párhuzamosan célszerű a darálás során mért villamos teljesítményt, légsebességet, hőmérsékletet és nyomást valós idejű adatgyűjtő rendszerrel rögzíteni. Az így felépített adatrendszer alapot teremthet digitális vezérlési modellek és mesterséges intelligencián alapuló optimalizálási algoritmusok kidolgozásához, amelyek a takarmánygyártás energiahatékonyságát és minőségbiztonságát tovább növelhetik.

Tudományos szempontból a kutatás értéke abban rejlik, hogy az energetikai és technológiai adatok üzemi körülmények között születtek, tehát a vizsgálat közvetlenül a gyakorlatot tükrözi. A megszívás, a szemcseméret és a pelletminőség közötti összefüggések mélyebb feltárása hozzájárulhat egy komplex darálási modell kialakításához, amely a fenntartható és költséghatékony takarmánygyártás kulcsa lehet.

Összegzésként megállapítható, hogy a megszívásos kalapácsos darálás alkalmazása nemcsak az energiahatékonyság növelését, hanem a gyártási stabilitás és a termékminőség javítását is szolgálja. Az eredmények alapján javasolt a megszívásos rendszer szélesebb körű bevezetése az ipari takarmánygyártásban, valamint az automatizált, szenzor alapú vezérlés fejlesztése. A kutatás folytatása doktori szinten indokolt, mivel a levegőáram, az energiafelhasználás és a pelletminőség közötti kapcsolat pontosabb feltárása a jövőben hozzájárulhat a hazai takarmánygyártás versenyképességének és energiahatékonyságának növeléséhez.

6. Összefoglalás

A kalapácsos darálás a takarmánygyártás egyik legfontosabb és legnagyobb energiaigényű technológiai művelete, amelynek hatékonyságát jelentősen befolyásolja a megszívás alkalmazása. A vizsgálatok során különböző rostaátmérőket (2,5-4,0 mm) és üzemmódokat, megszívással és megszívás nélkül, elemeztem a gyártási kapacitás, a villamosenergia-felhasználás, a szemcseméret-eloszlás és a pellet keménység szempontjából. Az eredmények alapján a megszívás alkalmazása nemcsak az energiafelhasználás csökkentésében játszik szerepet, hanem a gép terhelésének és működési stabilitásának javításában is. A légáram hatására a daráló nem fullad le, az anyagáramlás egyenletesebbé válik, a rotor kevésbé terhelődik, így a darálás folyamatosabb, a berendezés pedig nagyobb hatásfokkal működik. Ez közvetlenül növeli a gyártási kapacitást és csökkenti a fajlagos energiaigényt.

A mérések egyértelműen igazolták, hogy a rostaátmérő növelésével a daráló teljesítménye nő, a villamosenergia-felhasználás pedig csökken. Megszívásos üzemmódban a gyártási kapacitás a 2,5 mm-es rostánál 17,6 t/h, míg a 4,0 mm-es rostánál 22,36 t/h volt, ami közel 27 százalékos kapacitásnövekedést jelent. Ezzel párhuzamosan a fajlagos energiafelhasználás 11,54 kWh-ról 7,74 kWh-ra csökkent. A megszívás nélküli üzemhez képest a ventilátoros rásegítéssel végzett darálás minden rostaátmérőnél kedvezőbb értékeket mutatott, a levegőáram ugyanis segíti az aprított anyag gyorsabb kiürülését, így csökkenti a recirkulációt és a gép mechanikai igénybevételét.

A szemcseméret-analízis eredményei is megerősítették a megszívás hatását: a D50 érték a rostaátmérő növekedésével lineárisan emelkedett, a 2,5 mm-es rostán 0,67 mm, míg a 4,0 mm-es rostán 0,89 mm volt. A megszívásos minták minden esetben kissé durvább szemcseméretet mutattak, ami a hatékonyabb anyagáramlás és a csökkent túlörlés következménye. A pelletkeménységi vizsgálatok eredményei ezzel összhangban azt mutatták, hogy a durvábban örölt, nagyobb szemcseméretű takarmányból készült pelletek keménysége kisebb, míg a finomabb őrlémből készült pelletek tartósabbak és ellenállóbbak voltak. A trendvonal egyértelmű csökkenést mutatott a rostaátmérő növekedésével, valamint minden esetben a megszívás nélküli üzemmódban mért pelletek voltak keményebbek. Ez ellentmond Amerah és Reece kutatásainak, akik szerint a szemcseméretnek nincs szignifikáns hatása a pellet tartósságára. Az én vizsgálataim szerint a finomabb őrlés kedvezően befolyásolja a pellet fizikai stabilitását, ami a homogénebb szemcseméret-eloszlás és a jobb gélképző keményítőhatás eredménye.

Az üzem éves adatai alapján a kalapácsos darálás az összes villamosenergia-felhasználás 17-18 százalékát teszi ki, ami éves szinten mintegy 326 000 kWh energiát és 26,9 millió forint költséget jelent. A darálás optimalizálása tehát nemcsak technológiai, hanem gazdasági szempontból is kulcstényező. A megszívósos üzemmód, a ventilátor 11 kW-os teljesítményigénye ellenére, összességében energiahatékonyabb, mivel rövidebb darálási idővel és nagyobb teljesítménnyel jár. A megszívás technológiai jelentősége abban is megmutatkozik, hogy a levegőáram nem csupán az anyag továbbítását segíti, hanem mérsékli a hőfejlődést, növeli a darálási folyamat stabilitását és hozzájárul a gép hosszabb élettartamához. A keletkező légáram csökkenti az anyagdugulás és a teljesítményingadozás kockázatát, ezáltal egyenletesebb darálást és stabilabb termékminőséget biztosít.

Összességében a kalapácsos daráló működési paramétereinek, különösen a rostaátmérő, a megszívás intenzitása és a motor fordulatszáma optimalizálása nemcsak energetikai, hanem technológiai és minőségi szempontból is jelentős. A kutatás eredményei alátámasztják, hogy e terület további, mélyebb vizsgálata indokolt a PhD kutatás során is, különös tekintettel a levegőáram, az energiafelhasználás és a pelletminőség közötti összefüggések pontosabb modellezésére.

7. Irodalomjegyzék

- Abdollahi, M. R., V. Ravindran, and B. Svihus (2013): Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. *Animal Feed Science and Technology*, 186(1-2):193-201.
- Amandus Kahl (2023): SF Triplex 315 kalapácsoló daráló alapanyag adagoló csigák kezelési útmutató
- Amandus Kahl (2023): SGA 100 Nehéz részecske leválasztó kezelési útmutató
- Amandus Kahl (2023): HM 07.10 Kalapácsoló daráló kezelési útmutató
- Amandus Kahl (2023): SMW 4000 Keverőgép kezelési útmutató
- Amerah, A. M., V. Ravindran, R. G. Lentle és D. G. Thomas (2007): Influence of feed particle size and feed form on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters. *Poultry Science*, 86:2615-2623. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119400047> [letöltve: 2025.10.10.]
- Bhandari, D. (2023): Animal Feed Process: Grinding, <https://www.poultrytrends.in/animal-feed-process-grinding/> [letöltve: 2025.10.10.]
- Fogarasi L. (1988): Gabonaszemek mechanikai viselkedése, MTA AmFB-GATE konf., Gödöllő, 33-35.p.
- Fogarasi L. (1989): Mechanical Properties of Cereal Grains of Different Biological Factors (Különböző biológiai állapotú gabonamagvak mechanikai jellemzői) GATE-Lengyel Tudományos Akadémia Agrofizikai Kutatóintézete Közös Tanácskozás, Gödöllő
- Heimann, M. (2024): Grinding considerations when pelleting livestock feeds. Kansas State University, <https://www.scribd.com/document/499837471/3-10-Grinding-considerations-when-pelleting-livestock-feeds>, [letöltve: 2025.10.10.]
- Korzenszky P. (2009): Kalapácsoló daráló aprításkinetikai és energetikai vizsgálata, PhD-disszertáció
- Farkas J. (1977): Malomipari technológiák, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 32-45.p.
- Korzenszky P., Fogarasi L. (2009): Comminution of cereal feed components - new technological facilities, International Conferences in Agricultural Engineering, Synergy and Technical development in the Agricultural Engineering, Gödöllő, 135.p.
- Nagy Gy. (2003): A takarmányozás eszközeinek állathigiéniai jelentősége, *MezőHír* 2003. június (Szerkesztő: Adorján Károly)
- Reece, F. N., B. D. Lott és J. W. Deaton (1986): The effects of hammer mill screen size on ground corn particle size, pellet durability, and broiler performance. *Poultry Science*, 65:1257-1261., <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119524014> [letöltve: 2025.10.10.]
- Reményi K. (1974): Örlhetőségi eljárások és kétkomponensű keverékek aprítása, BME Továbbképző Intézet 4920, Budapest
- Svihus, B., Ahmad, M., Rinttilä, T., Apajalahti, J., Hetland, H. (2024). Effect of wheat coarseness and pellet quality on performance and particle size preference of broiler chickens fed diets based on wheat and maize *Journal of Applied Poultry Research*, 33:100436,

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1056617124000357>, [letöltve: 2025.09.10.]
- Svihus, B., K. Neteland, C. Storkås, S. Reierstad, S. Dhakal és H. Hetland (2025): Effect of grinding and pellet dimensions on performance, digestive tract functionality and feeding behavior of broiler chickens fed diets based on wheat and maize. Poultry Science, 104:103-115., <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579125007229ü>, [letöltve: 2025.10.10.]
- Van Aarsen (2024): Cu pellet mill /granuláló általános leírás, gyártói alkatrész jegyzék
- Van Aarsen (2024): Cu pellet mill /granuláló általános használati utasítás
- Van Aarsen (2024): Kondicionáló általános leírás, gyártói alkatrész jegyzék
- Wondra, B. (1995): Effect of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. J. Anim. Sci. 73: 757.
- http1: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840113003015> [letöltve: 2025.10.10.]
- http2: Hammermills.com (2014): How Does a Hammer Mill Work? www.hammermills.com/wp-content/uploads/2017/07/Hammermill-Function.FS_.pdf [letöltve: 2025.10.10.]
- http3: Jdringdie.com (2023): Hammer Mill Screens: What They Are and How They Work, <https://www.jdringdie.com/hammer-mill-screens-what-they-are-and-how-they-work/> [letöltve: 2025.10.10.]
- http4: Prater Mills (2024): A Comprehensive Guide to Selecting Hammer Mills for Feed Processing, <https://blog.praterindustries.com/guide-to-selecting-hammer-mills-for-feed-processing> [letöltve: 2025.10.10.]
- http5: West Salem Machinery (2024): History of the Hammermill, <https://westsalem.com/a-brief-history-of-the-hammermill/> [letöltve: 2025.10.10.]

8. Ábrajegyzék

1. ábra: Pitot-csőves légsebességmérés a daráló elszívóvezetékén.....	17
2. ábra: Keverő utótartály és dercés mintavételi pont a darálási vizsgálatokhoz.....	18
3. ábra: Daráló elhelyezkedése a takarmánykeverő üzemben.....	21
4. ábra: Kalapácsos daráló villanymotor adattáblája.....	22
5. ábra: Kalapácsos daráló adagoló csigák és hajtómotorjai.....	23
6. ábra: Kalapácsos daráló előtti mágneses idegen-test leválasztó egység.....	24
7. ábra: Amandus Kahl kalapácsos daráló rotorja és kalapácssora.....	25
8. ábra: Kalapácsos daráló megszívó ventilátora és hajtómotorja kézi zsaluállítási lehetőséggel.....	26
9. ábra: Kalapácsos daráló megszívó ventilátorának villanymotor adattáblája.....	26
10. ábra: Keverés és pelletálás.....	29
11. ábra: Van Aarsen CU 900 típusú pelletprés préskamrája nyitott állapotban.....	31
12. ábra: HOLMEN NHP 100 típusú pelletkeménység-vizsgáló berendezés laboratóriumi mérés közben.....	34
13. ábra: Gyártási kapacitás változása különböző rostaméreték és üzemmódok esetében (megszívással és megszívás nélkül).....	38
14. ábra: Villamosenergia felhasználás változása különböző rostaméreték és üzemmódok esetében (megszívással és megszívás nélkül).....	40
15. ábra: Gyártási villamosenergia költség változása különböző rostaméreték és üzemmódok esetében (megszívással és megszívás nélkül).....	41
16. ábra: Mintánkénti frakciómegoszlás különböző rostaméreték és üzemmódok megszívással [van], megszívás nélkül [nincs] esetében összesített diagram.....	43
17. ábra: Mintánkénti frakciómegoszlás rostaméretenként megszívással [van], megszívás nélkül [nincs] és üzemmódok esetében.....	44
18. ábra: Szemcseméret-analízis D50 értékei különböző rostaméreték és üzemmódok esetében.....	45
19. ábra: Különböző rostaméretű darálás hatása a pellet keménységi indexére megszívásos és megszívás nélküli üzemmódban.....	47
20. ábra: Egy éves szűkített gyártási költség megoszlása takarmánykeverő üzemben (2024– 2025).....	49

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék őszinte köszönetet mondani Dr. Korzenszky Péter PhD, habilitált egyetemi docensnek, hogy vállalta szakdolgozatom témavezetését, valamint folyamatos szakmai támogatásával, iránymutatásával és mentorálásával segítette a dolgozat elkészítését. Külön köszönettel tartozom az UBM Feed Zrt.-nek, munkáltatómnak, amely anyagilag is támogatta egyetemi tanulmányaimat, valamint biztosította a kutatáshoz és laboratóriumi vizsgálatokhoz szükséges eszközöket, feltételeket és szakmai háttérrel. Hálás köszönet illeti a Zala-Cereália Kft.-t, különösen Király László ügyvezető igazgatót, aki mindenben támogatta a kísérlet megvalósítását. Segítsége, rugalmassága és a vizsgálathoz nyújtott anyagi és technikai támogatása nélkül a kutatás nem valósulhatott volna meg. Köszönöm, hogy időt és energiát nem sajnálva lehetőséget biztosított a gyakorlati vizsgálatok elvégzésére, és a gyártási költségeket, munkabért, valamint az eszközhasználatot is magára vállalta. Külön köszönet illeti Schwarzenbarth Petrát, a Zala-Cereália Kft. takarmánygyártási és műszaki ágazatvezetőjét, aki szakmai tudásával, gyakorlati tapasztalatával és folyamatos segítségével kiemelkedő szerepet vállalt a kísérlet megvalósításában. Végül, de nem utolsósorban szeretném megköszönni Kerekes Józsefnek, aki szabadidejét feláldozva, vasárnap is vállalta a műszakot annak érdekében, hogy a kísérleteket sikeresen lebonyolíthassuk. Ezúton is hálásan köszönöm munkáját, hozzáállását és önzetlen segítségét. Minden felsorolt személy és szervezet támogatása nélkül ez a dolgozat nem jöhetett volna létre.

Mellékletek

1. melléklet: Az üzem bemutatása képekben

Zala Cereália Kft. Takarmány keverő üzem Forrás: Zala-Cereália kép, 2025



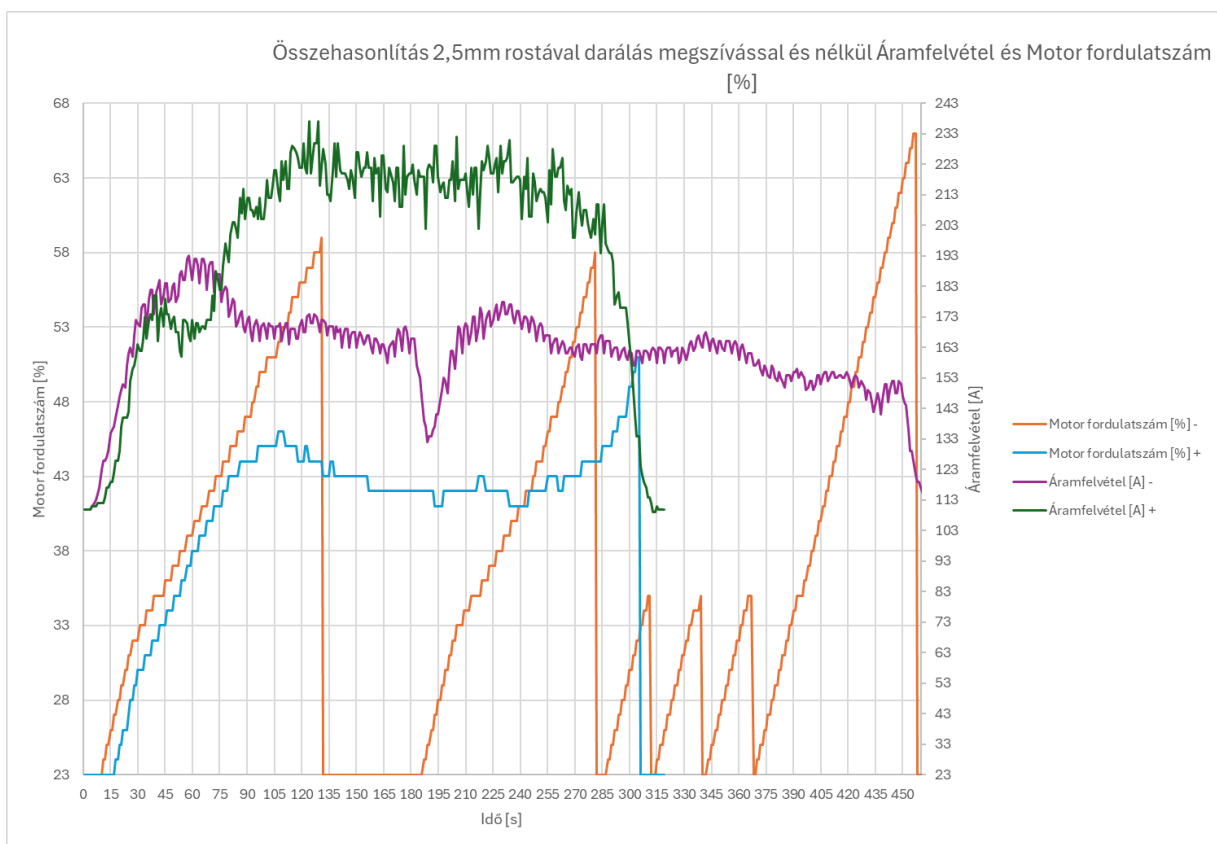
Daráló, megszívás, porszűrő Forrás: saját kép, saját feliratozás 2025



2. melléklet: Összehasonlítás

A 2,5 mm-es rostával végzett darálás összehasonlítása megszívással és megszívás nélkül, Áramfelvétel és motorfordulatszám alakulása Forrás: saját adat, saját diagram, 2025

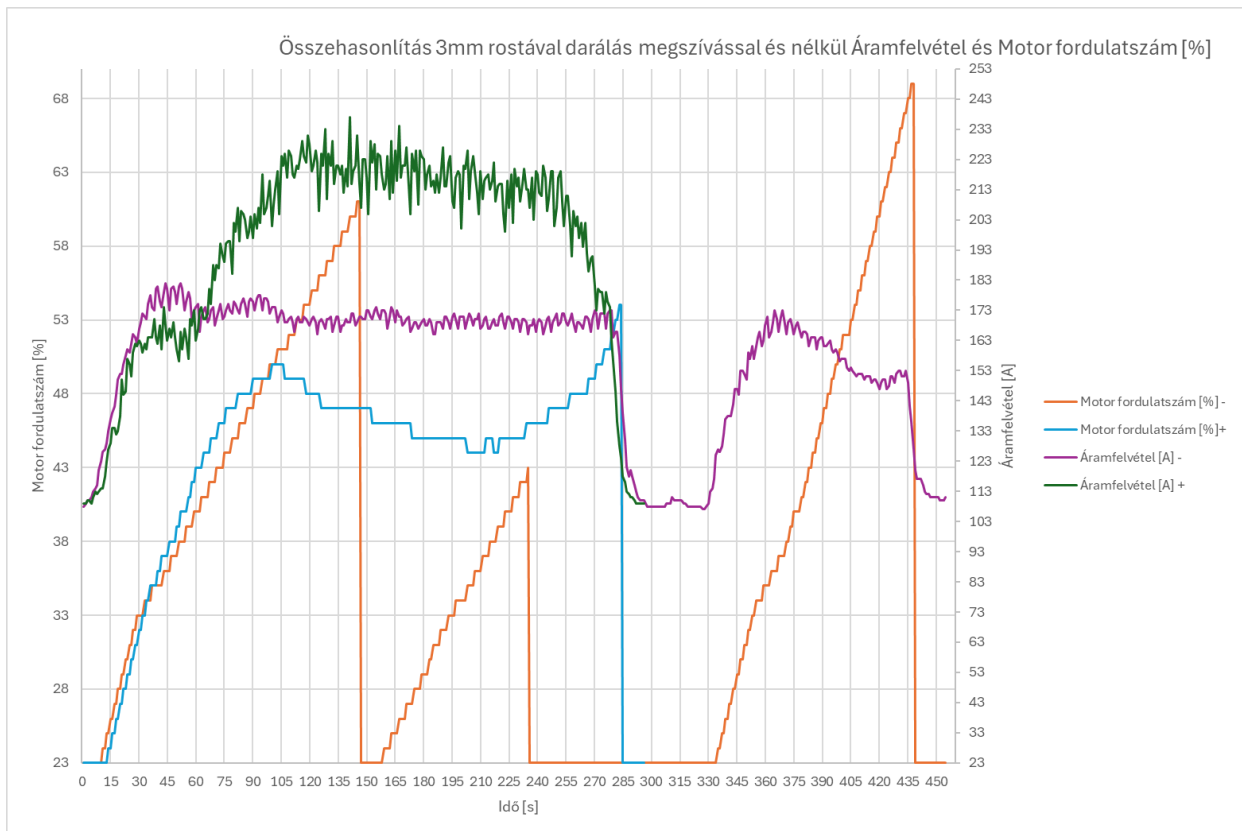
Összesített 2,5 mm darálás							
	Jelölés		Darálási idő	2,5mm kapacitás [t/h]	2,5mm villamos energia vent+dar [kWh]	2,5mm Energia költség [Ft]	Fulladás szám [db]
	Áramfelvétel	Sebesség					
2,5mm megszívással 1. +			319 mp	17,6	11,54	951,98	0
2,5mm megszívás nélkül 3. -			470 mp	12,86	12,80	1055,90	5



Összehasonlítás A 4 mm-es rostával végzett darálás összehasonlítása megszívással és megszívás nélkül, Áramfelvétel és motorfordulatszám alakulása

Forrás: saját adat, saját diagram, 2025

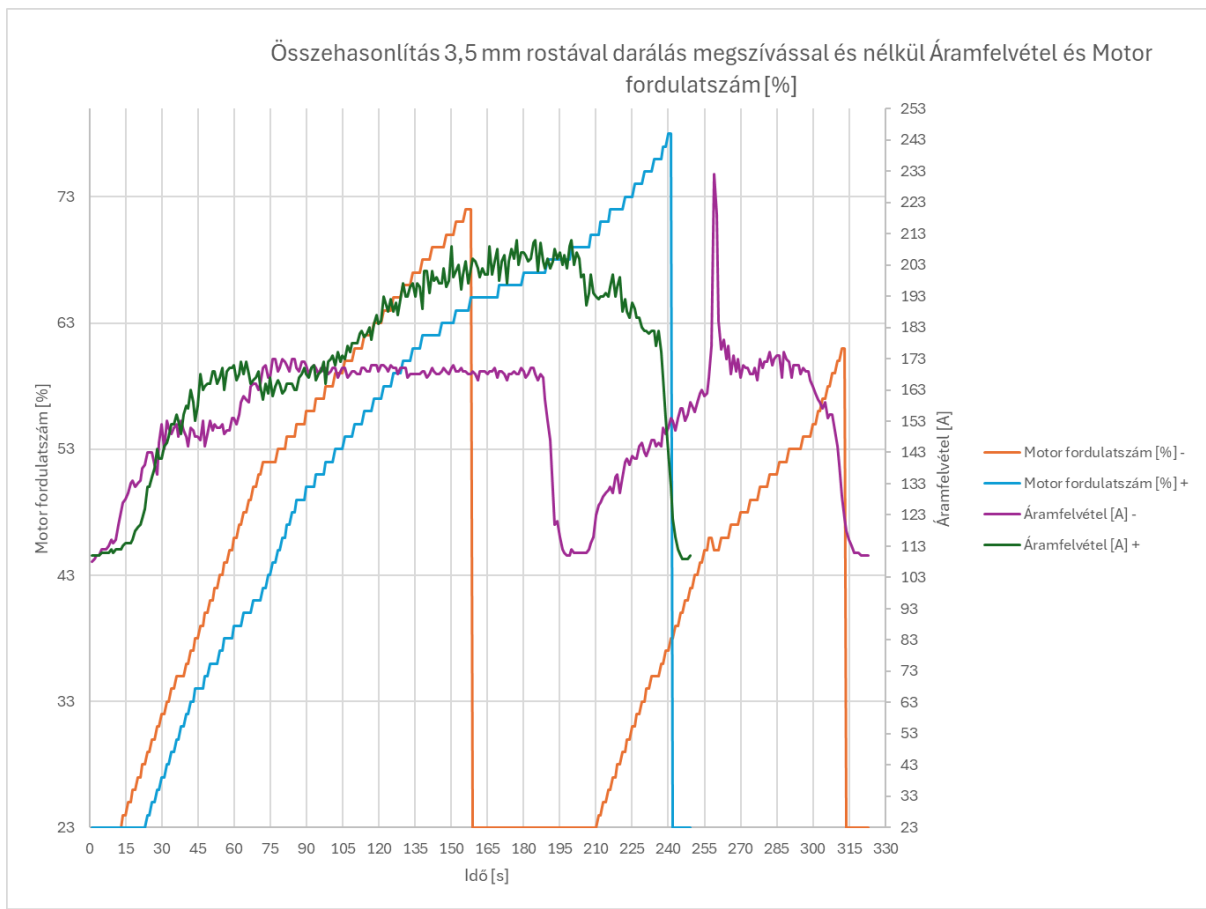
Összesített 3 mm darálás							
	Jelölés			3mm kapacitás [t/h]	3 mm villamos energia vent+dar [kWh]	3,0 mm Energia költség [Ft]	Fulladás szám [db]
	Áramfelvétel	Sebesség	Darálási idő				
3mm megszívással 5. +			296 mp	18,66	10,62	876,46	0
3mm megszívás nélkül 7. -			455 mp	13,22	12,05	994,29	2



Összehasonlítás A 3,5 mm-es rostával végzett darálás összehasonlítása megszívással és megszívás nélkül, Áramfelvétel és motorfordulatszám alakulása

Forrás: saját adat, saját diagram, 2025

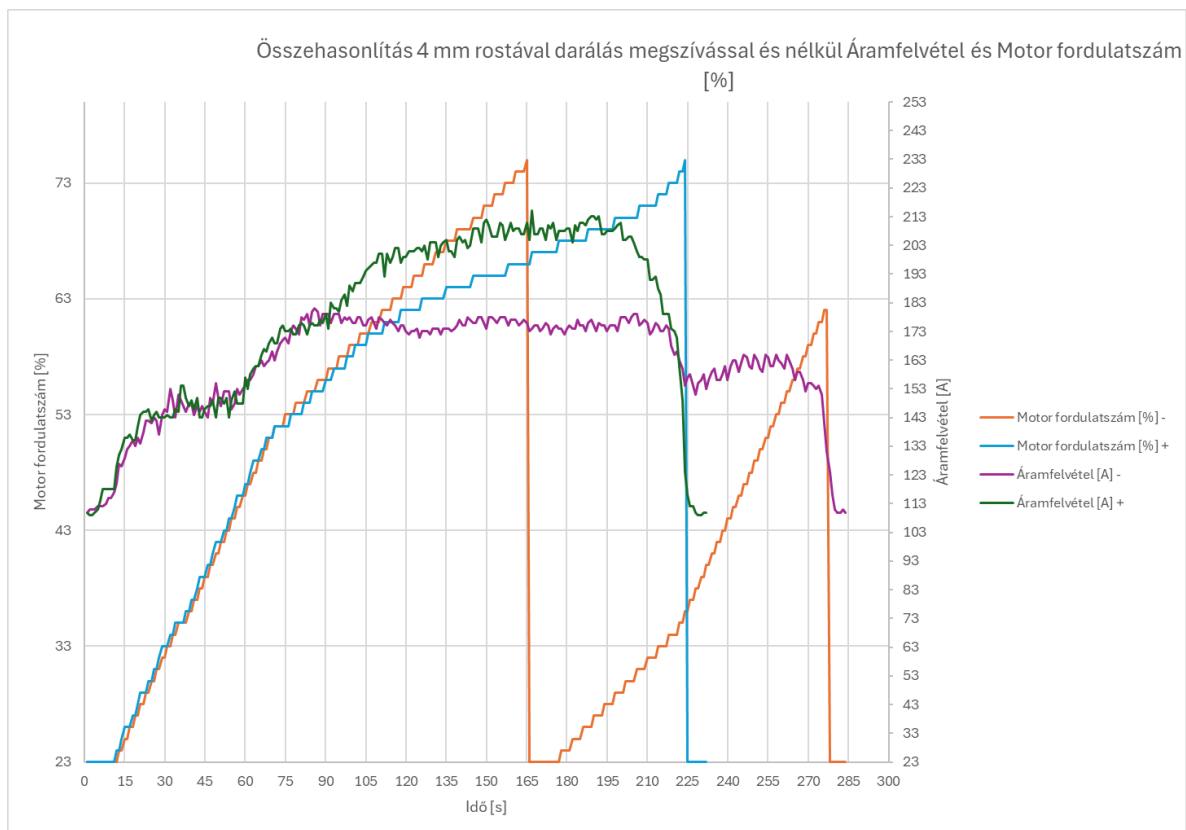
Összesített 3,5 mm darálás							
	Jelölés		Darálási idő	3,5mm kapacitás [t/h]	3,5mm villamos energia vent+dar [kWh]	3,5mm Energia költség [Ft]	Fulladás szám [db]
	Áramfelvétel	Sebesség					
3,5 mm megszívással 10. +			249 mp	21,24	8,16	672,91	0
3,5 mm megszívás nélkül 12. -			323 mp	17,44	8,45	697,38	1



Összehasonlítás A 3,5 mm-es rostával végzett darálás összehasonlítása megszívással és megszívás nélkül, Áramfelvétel és motorfordulatszám alakulása

Forrás: saját adat, saját diagram, 2025

Összesített 4 mm darálás							
	Jelölés		Darálási idő	4 mm kapacitás [t/h]	4mm villamos energia vent+dar [kWh]	4mm Energia költség [Ft]	Fulladás szám [db]
	Áramfelvétel	Sebesség					
4 mm megszívással 13. +			232 mp	22,36	7,74	638,43	0
4 mm megszívás nélkül 16. -			284 mp	19,3	7,78	642,20	1

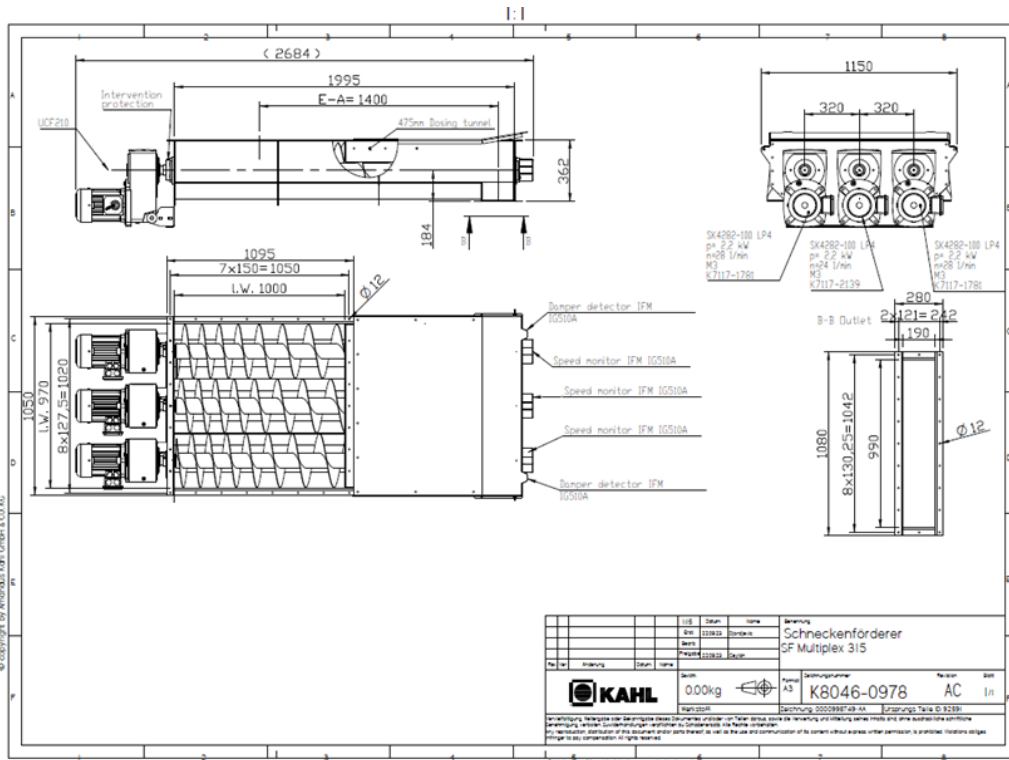


3. melléklet: ROSS 308 brojlerhibrid 4 fázisú takarmányozási programja és a darálendő rész arányának változása Forrás: Takarmánykeverő üzem receptúra adat, saját feldolgozás, 2025

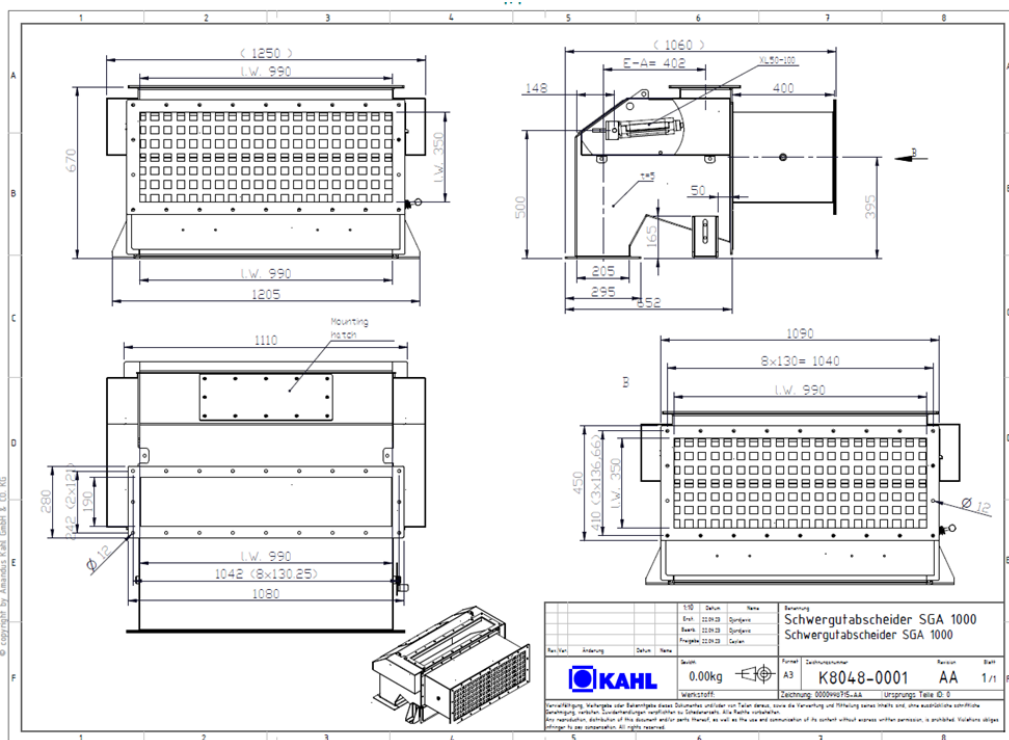
ROSS 308 Brojler hibrid 4 fázisú takarmányozás				
GYÁRTÁSI KÓD	8361200001	8361200002	8361200003	8361200004
Recept név	Broiler indító tak.kev.	Broiler nevelő I. tak.kev.	Broiler nevelő II. tak.kev.	Broiler befejező tak.kev.
Összetétel				
UBM Brojler befejező ZC 0,5% px.				0,50
UBM Brojler indító ZC 0,5% NN(45) px.	0,50	0,50		
UBM Brojler nevelő ZC 0,5% (Sal) px.			0,50	
Kukorica 7,2% *	19,40	14,30	15,10	17,10
Takarmánybúza 11%*	40,06	45,03	41,07	36,99
Takarmánybúza egész szem 11%* Darálendő csökkentése	0,00	5,00	10,00	15,00
Fullfat szója 34%* GMO mentes	5,00	8,00	10,00	10,00
Extrahált Szójadara II.o.46%*	30,50	23,60	19,60	17,00
Növényi olaj *	1,60	1,00	1,80	1,90
L-Lizin HCl 78%	0,29	0,28	0,26	0,25
DL-Metionin 99%	0,31	0,27	0,20	0,18
L-Treonin 98%	0,09	0,07	0,07	0,05
MCP *	0,63	0,40	0,05	
Takarmánymész	1,24	1,15	0,95	0,63
Vákumsó (NaCl) /Takarmánysó	0,28	0,30	0,30	0,30
Nátrium-szulfát	0,10	0,10	0,10	0,10
	100,00	100,00	100,00	100,00
Darálendő rész %	Broiler indító tak.kev.	Broiler nevelő I. tak.kev.	Broiler nevelő II. tak.kev.	Broiler befejező
	94,96	90,93	85,77	81,09

4. melléklet: Műszaki rajzok

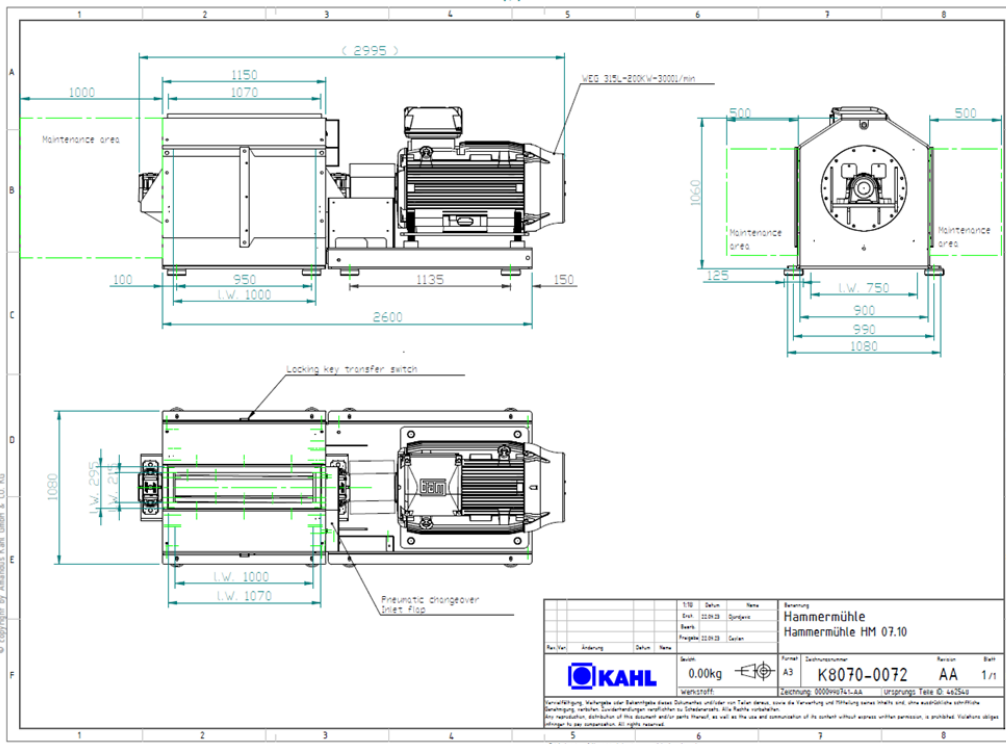
Amandus Kahl SF Triplex 315 kalapácsoló daráló alapanyag adagoló csigák gépáttekintés:
 Forrás Amandus Kahl kezelési útmutató 2023



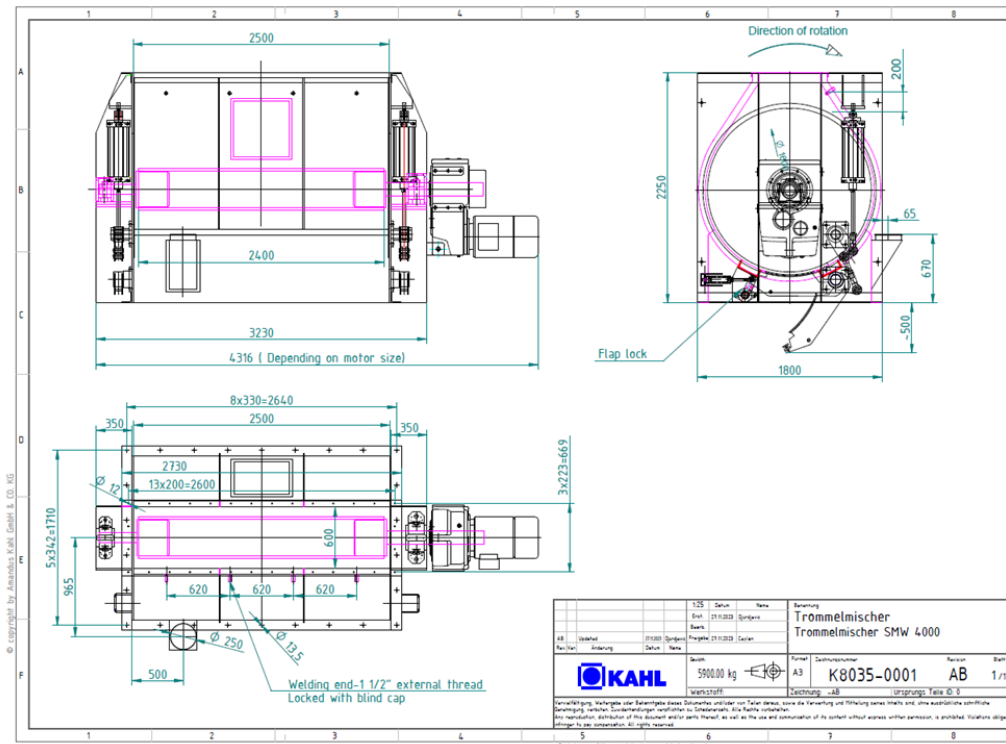
Amandus Kahl SGA 1000 Nehéz részecske leválasztó gépáttekintés: Forrás Amandus Kahl kezelési útmutató 2023



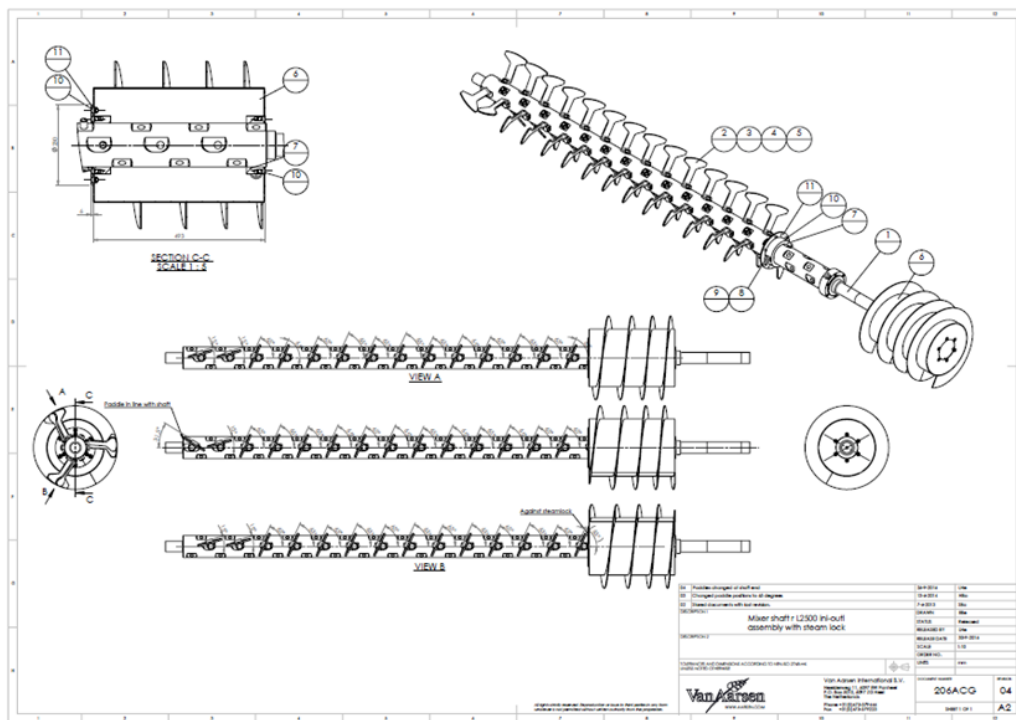
Amandus Kahl HM 07.10 Kalapácsos daráló gépáttekintés: Forrás Amandus Kahl kezelési útmutató 2023



Amandus Kahl SMW 4000 Keverőgép gépáttekintés: Forrás Amandus Kahl kezelési útmutató 2023



Kondicionáló csiga terelő lapátokkal: Forrás: Van Aarsen alkatrész lista 2024



A granuláló prés gépáttekintése: Forrás Van Aarsen üzemeltetési utasítás. 2024

A: Beépített emelő kocsi, B1: Fő ajtó / B2 Oldalsó ajtó, C: Fogazott szíj, D: Villanymotor, E: Főcsapágyak, F: Mágnes, G: Beömlő karima, H: Anyagbevezető csúszda, I: Görgőállítás (kézi vagy automata), J: Bevezető kés, K: Présgyűrű, L: Présgörgők, M: Kieresztő nyílás
 N: Préslap rögzítés, O: Kész pellet kiömlő nyílás

3. DESCRIPTION

3.1. Machine overview

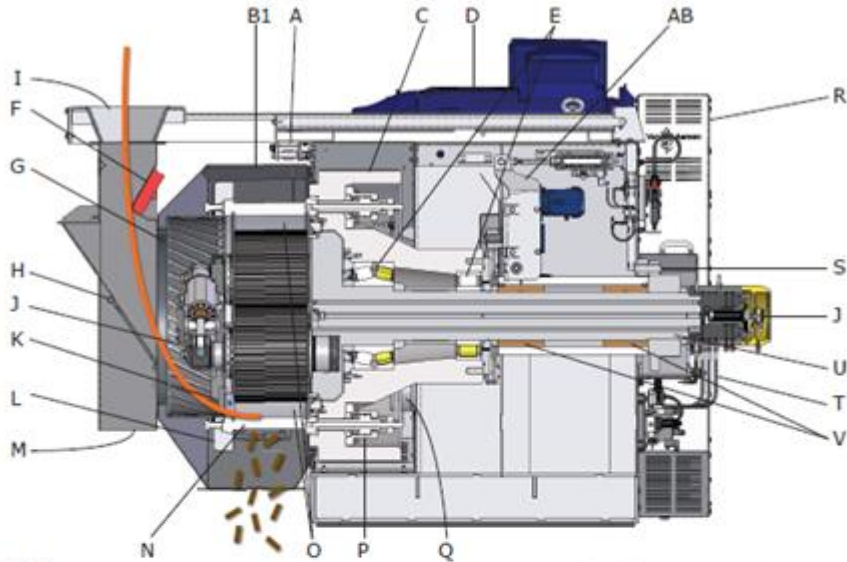


Figure 3.1

- A. Integrated hoist carriage
- B1 Main door / B2 Side door
- C. Toothed belt
- D. Motor
- E. Main bearings
- F. Magnet
- G. Infeed flange
- H. Dump chute valve
- I. Infeed chute
- J. Roller adjustment (manual or automatic)
- K. Infeed blade
- L. Die cover
- M. Dump chute, outlet
- N. Die
- O. Rollers
- P. Die clamping
- Q. Die holder
- R. V belt
- S. Break pin
- T. Automatic lubrication system
- U. Main shaft
- V. Bearing bushes
- AA. Pellet knife
- AB. Slow turning device
- AC. Door safety

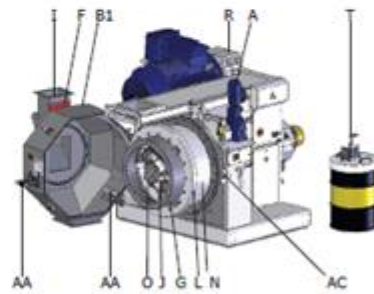
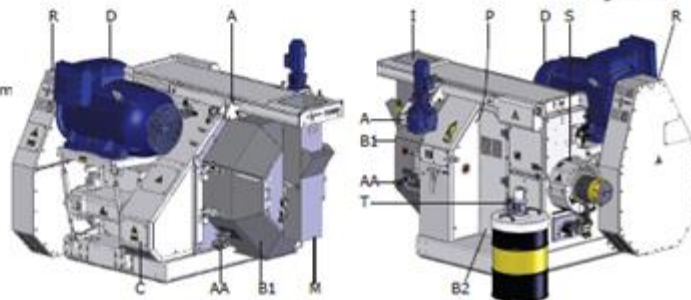


Figure 3.2



Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Király Domonkos

A Hallgató Neptun kódja: R511KV

A dolgozat címe: Kalapácsos darálás technológiai paramétereinek elemzése

A megjelenés éve: 2025

A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet

A konzulens tanszékének a neve: Mezőgazdasági- és Élelmiszeripari Gépek Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: 2025 év 11 hó 10 nap



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

__Király_Domonkos__ (név) (hallgató Neptun azonosítója: __R511KV__) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védésre **javaslom** / **nem javaslom**¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: Gödöllő, 2025. év november hó 10 nap



belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Király Domonkos
Neptun-kódja:	R511KV
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA X MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Diplomadolgozat
A munka címe:	Kalapácsos darálás technológiai paramétereinek elemzése

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés	ChatGPT-5	fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve, Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt:2025....., 2025.11..... hó ...10..... nap



Hallgató aláírása



Konzulens/Témavezető aláírása