

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

HORVÁTH BOGLÁRKA

**GEORGIKON CAMPUS
KESZTHELY**

2025



MAGYAR AGRÁR ÉS ÉLETTUDOMÁNYI
EGYETEM

GEORGIKON CAMPUS

**OSZTOTT TOJÓTYÚK TAKARMÁNYOZÁSI
RENDSZER TOJÁSTERMELÉSI, KÖRNYEZETI
ÉS EMÉSZTÉS-ÉLETTANI HATÁSAINAK
VIZSGÁLATA**

Horváth Boglárka

Keszthely

2025

A doktori iskola megnevezése: Festetics Doktori Iskola

tudományága: Állattenyésztési tudományok

vezetője: Dr. Anda Angéla, DSc
egyetemi tanár
MATE, Georgikon Campus
Növénytermesztési-tudományok Intézet,
Agronómia Tanszék

témavezető: Dr. Pál László, PhD
egyetemi tanár
MATE, Georgikon Campus
Élettani és Takarmányozástani Intézet,
Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszék

A jelölt a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....
Az iskolavezető jóváhagyás

.....
A témavezető jóváhagyása

1. A munka előzményei, célkitűzések

A tojótyúkok takarmányozásában a hagyományos, széles körben alkalmazott gyakorlat a nap folyamán azonos összetételű és tápanyagtartalmú, teljes értékű keveréktakarmány etetése. Az ún. alternatív rendszerek, mint például a szabadon válogató, az osztott vagy az egész szemű gabonás keveréken alapuló rendszer pontosabban követhetik a napi tojásképzési ciklus óránként, napszakonként változó táplálóanyag- és kalcium igényét, bizonyos esetekben lehetőséget adnak az energia-, fehérje- és kalciumforrások közötti szelekcióra. (Molnár et al., 2018). Egyes technológiákban lehetőség van a helyi, teljes kiőrlésű gabonafélék felhasználására, amivel csökkenthető a gabonafélék szállításához, őrléséhez és keveréséhez szükséges energia, a takarmánygyártás széndioxid-lábnyoma. A szakaszos vagy osztott etetési rendszerben a délelőtti és délutáni, különböző összetételű takarmány ugyanabban az etetőben kerül kiosztásra, és ez lehet a legmegfelelőbb alternatív rendszer a nagyüzemi tojótyúktartó telepek számára (Molnár et al., 2018).

Az osztott takarmányozási rendszernek két típusa jött létre. Az első, egész szemű gabonát nem alkalmazó típusban a technológiai ajánláshoz képest az állatok a délelőtti folyamán a tojásfehérje képződése miatt egy energiában és fehérjében gazdagabb, illetve kalciumban szegényebb, míg a délután folyamán energiában és fehérjében szegényebb, viszont a héjképződés nagyobb igénye miatt egy kalciumban gazdagabb keveréket fogyasztanak (Lee és Ohh, 2002). A második, egész szemű gabonát felhasználó technológiában a délelőtti folyamán történik a gabona etetése önállóan, ami energiában gazdag, de fehérje és kalcium tartalma nem éri el az állatok szükségletét. A délután során egy energiában szegény, de fehérjében és kalciumban gazdag keverék etetésére kerül sor (Umar-Faruk et al., 2010). Az osztott rendszerrel több kísérlet eredményei szerint a hagyományos takarmányozáshoz képest hasonló

tojástermelés, kisebb takarmányfelvétel, valamint jobb takarmányértékesítés érhető el (Leeson és Summers, 1978; de Los Mozos et al., 2015; Umar Faruk et al., 2010).

Doktori kutató munkám során az első típusú osztott rendszer vizsgálatával foglalkoztam és igyekeztem a kísérletek célkitűzéseit az aktuális tojótyúk takarmányozási kihívásokhoz igazítani. A modern genotípusok már 100 élethéig tartó tojástermelési ciklusra is alkalmasak és takarmányozásuk az osztott rendszerben még modell szinten sem megfelelően vizsgált. A saját kísérleteim során kidolgozott rendszerben nagy hangsúlyt fektettem a takarmánykeverékek nyersfehérje szintjeinek vizsgálatára, az un. csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmányozás megvalósítására. Az intenzíven termelő modern tojótyúkok hatékonyabb kalcium ellátásában is segíthet az osztott rendszer, amelyet szintén vizsgáltam kísérleteimben. Kutatásom során újszerű módon a tojótyúkok tojástermelési paraméterei és a tojásmínőség jellemzői mellett számos környezetterheléssel kapcsolatos paramétert (pl. N-, Ca- és P-emisszió, az ürülék különböző N-formái) is vizsgáltam az osztott technológia minél komplexebb értékelésére törekedve.

A fentiek alapján a dolgozat célkitűzései a következőkben foglalhatók össze:

1. Céлом volt olyan saját fejlesztésű osztott etetési technológia létrehozása, amelynek délelőtti takarmánykeverékében a nyersfehérje tartalom újszerű módon megegyezett a technológiai ajánlásokban feltüntetett értékkel, a délutáni takarmánykeverékek nyersfehérje tartalma pedig ennél az értéknél kisebb volt. A nyersfehérje tartalom beállításán túl a keverékek aminosav tartalmának optimalizálása során nyolc esszenciális aminosav (lizin, metionin, arginin, valin, treonin, leucin, izoleucin, triptofán) standardizált ileálisan emészthető (SID) koncentrációját vettem figyelembe a pontosabb aminosav ellátás érdekében.

2. További célkitűzésem volt a kifejlesztett osztott rendszer és csökkentett nyersfehérje szintű változatának (LP) összehasonlítása az eltérő nyersfehérje és aminosav ellátás hatásainak vizsgálata céljából. A vizsgálat során az LP keverékek a kontroll osztott takarmánykeverékekhez képest mind a délelőtti, mind a délutáni keverékek esetében 2%-kal kisebb nyersfehérje tartalommal rendelkeztek, de a SID lizin, metionin, metionin+cisztin, treonin, valin és arginin koncentrációik azonosak voltak.

3. Kutatási célom volt továbbá, hogy a kifejlesztett osztott takarmányozási rendszerben a kontroll kalcium ellátáshoz hasonlítva (a szükséglethez képest a délelőtti keverékben kb. 20%-kal kisebb, a délutániban pedig kb. 20%-kal nagyobb kalcium szint) a délelőtti és délutáni takarmány kalcium szintjei között nagyobb különbséget biztosító kalcium ellátás (a délelőtti keverék kalcium tartalma a szükségletnél 38%-kal kisebb, a délutáni 35%-kal nagyobb) hatásait megvizsgáljam.

2. Anyag és módszer

A doktori kutatómunkám során három modell és egy üzemi kísérletet végeztem. A kísérletben a következő témákat vizsgáltam:

1. Hagyományos és osztott etetési technológia összehasonlítása
(1. modell és nagyüzemi kísérlet)
2. Eltérő fehérje és aminosav ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (2. modell kísérlet)
3. Eltérő kalcium ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában
(3. modell kísérlet)

A következőkben először a modell kísérletek, majd a nagyüzemi kísérlet módszertanát ismertetem

2.1. Modell kísérletek anyagai és módszerei

2.1.1 Kísérleti állatok és elhelyezésük

Az elvégzett modellkísérletek helyszínét a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élettani és Takarmányozástani Intézet Georgikon Campusán található kísérleti telep biztosította. Az 1. modell kísérletet 48 Nick Brown genetikájú tojótyúkkal végeztem, melyek 29 élethetesesek voltak a kísérlet kezdetén. A 2. és 3. modell kísérletben 48 Hy-Line Brown genetikájú tojótyúkokat használtam, amelyek az 2. kísérlet kezdetén 47 hetes, a 3. kísérlet megkezdésekor pedig 62 hetes életkorúak voltak. A kísérleti állatok a Fuchs Tojás Kft. telepeiről a kísérleteket megelőzően egy héttel érkeztek és hét napig a termelő telepen fogyasztott takarmányt kapták. A tojótyúkok kétszintes egyedi ketrecekben lettek elhelyezve (1056 cm² alapterület), amelyek mindegyike szelepes itatóval és kézi feltöltésű etetővályúval volt felszerelve. Egy szinten belül a 6 állatot helyeztem el úgy, hogy az egymás mellett

elhelyezkedő állatok külön kezeléshez tartoztak és ebből a 6 állatból álló blokkból összesen 8 ismételés volt a kísérleti teremben. A terem hőmérséklete $20 \pm 0,6$ °C volt, fényprogramként pedig 16 óra világos és 8 óra sötét szakasz, 30 lux fényerősség került beállításra. A kísérleteket az Intézményi Etikai Bizottság (Állatvédelmi Bizottság, Georgikon Campus, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem) a MÁB-2/2021 engedélyszám alatt hagyta jóvá.

2.1.2 Kísérleti takarmány kezelések

2.1.2.1 Hagyományos és osztott etetési technológia összehasonlítása (1. modell kísérlet)

A kísérlet során felhasznált 48 állatból 24 egyed részesült hagyományos (kontroll, K) takarmányozásban és ugyancsak 24 állat tartozott az osztott (O) etetési rendszerhez. A kísérleti keverékek előállítása a MATE ÉTI keszthelyi kísérleti telepén történt. A kísérleti takarmányokat 12 hétig etettem, a tojótyúkok 29-40 hetes korában. Mindkét takarmányozási rendszerben a kiosztott napi takarmány adag 120 g takarmány/nap volt. Reggel 8 órakor a fényszakasz kezdetén az állatok mindkét kezelési csoportban a napi takarmányadagjuk 40%-át kapták (48g), és a második adag kiosztásáig 7 óra állt rendelkezésükre ennek elfogyasztására (6,85 g/óra). A napi takarmány adag további 60%-át (72g) 15 órakor kapták meg és 9 órán keresztül fogyaszthatták a fényszakasz végéig (8,00 g/óra). A takarmány kiosztás időpontjában az etetőben maradt takarmány maradék mindig lemérésre és eltávolításra került. A kontroll csoport takarmánykeverékének összeállítása a tenyésztő cég (Brown Nick Management Guide, 2024; H&N International) ajánlása alapján történt napi 120 g-os takarmányfelvételt és 90% feletti tojástermelést tervezve, és mind a délelőtt, mind a délután kiosztott keverék ugyanolyan összetételű volt (tojó II. fázis). Az összes takarmány receptúra készítés során az alapanyagok aktuálisan mért beltartalmi eredményeivel,

illetve az ezekből a Bestmix szoftver által alapanyagonként számított AMEn értékekkel dolgoztunk és ez alapján határoztuk meg a keverékek összetételét. Az osztott etetésű csoport délelőtti takarmányának emeltebb volt az energia (AMEn; 102.7%) és kisebb a Ca tartalma (80.4%) a K csoporthoz képest, míg a délutáni takarmánynak kisebb volt az energia (96.4%) és több Ca koncentrációja (113,4%) a Kontroll csoporthoz képest (100%). Az osztott technológia délelőtti keverékének nyersfehérje szintje megegyezett a hagyományos rendszer keverékének nyersfehérje szintjével, viszont az osztott etetés délutáni keverékének nyersfehérje koncentrációja kisebb volt (92%), mint a kontroll esetében számított érték (100%). A SID Lys, Met, Met+Cys koncentrációk az O technológia délelőtti és délutáni keverékeiben, illetve más fontos esszenciális aminosavak (Arg, Val, Thr, Leu, Ile, Trp) SID koncentrációi az O technológia délelőtti keverékében közel megegyeztek a K technológia kísérleti keverékében jellemző értékkel. A SID Arg, Val, Thr, Leu, Ile, Trp szintek az osztott etetés délutáni keverékében a nyersfehérje szinthez hasonló mértékben kisebbek voltak, mint a K csoport keverékének szintjei. Mindkét kezelésben a finom és durva mészfóráss aránya (70:30%) volt

2.1.2.2. Elterő fehérje és aminosav ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (2. modell kísérlet)

A kísérletben két osztott takarmányozási kezelést hasonlítottam össze: egy kontroll (K) és egy csökkentet nyersfehérje (low protein; LP) tartalmú kísérleti keverékeket tartalmazó kezelést. A kísérlet 6 héten keresztül zajlott, a kísérleti állatok 47-53 élethetes korában. A napi takarmány adag és annak kiosztása megegyezett az 1. modell kísérletnél leírtakkal. Az 1. modell kísérlethez hasonlóan itt is megtörtént az alapanyagok beltartalmának mérése, az alapanyagonkénti AMEn tartalom aktualizálása a receptúrák összeállítása előtt. A két osztott kezelési csoport délelőtti és délutáni takarmányainak

energia (AMEn) és Ca-tartalma közel azonos volt és így hasonló különbségeket mutatott a tenyésztő cég ajánlásainak megfelelő kereskedelmi tojótáphoz képest (Hy-Line Performance Guide, 2024; Hy-Line International). A K kezelés délelőtti és délutáni keverékeinek egymáshoz viszonyított AMEn-aránya közel azonos volt az 1. modell kísérletnél alkalmazott aránnyal (O kezelés). A K kezelés délelőtti keverékének nyersfehérje és esszenciális SID aminosav szintjei a tenyésztő cég ajánlásainak figyelembevételével kerültek megállapításra (Hy-Line Performance Guide, 2024; Hy-Line International). Az 1. kísérlethez szintén hasonló módon a délutáni keverék nyersfehérje szintje 92%-a volt a délelőttinek, az esszenciális aminosavak SID szintjeire pedig 88-93% volt jellemző ebben az összehasonlításban. Az LP kezelés délelőtti és délutáni fázisainak keverékei 2%-kal kevesebb nyersfehérjét tartalmaztak a K kezelés megfelelő keverékeihez képest. A SID Lys, Met, Met+Cys, Thr, és Val koncentrációk ugyanakkor nem különböztek ilyen módon a két kezelés keverékeiben, azonosak voltak a K és az LP kezelések délelőtti, illetve a két kezelés délutáni keverékeiben. A keverékekben nem használtam kristályos Arg, Leu, Ile és Trp aminosavakat, így ezeknek a SID szintjei lecsökkentek az LP kezelés kisebb nyersfehérje tartalmú keverékeiben a K kezelés takarmányaihoz képest. A két kezelés közti 2%-os abszolút nyersfehérje csökkenés 13-14%-ot jelentett relatív szinten, míg az előbb említett aminosavak SID szintjeinek csökkenése kb. 20%-os volt a K és LP kezelések keverékei között.

2.1.2.3. Eltérő kalcium ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (3. modell kísérlet)

A kísérletben két osztott takarmányozási kezelést hasonlítottam össze: egy kontroll (K) és egy módosított kalcium tartalmú kísérleti keveréket tartalmazó kezelést (CA). A kísérlet 6 héten keresztül zajlott, a kísérleti állatok 62. és 68.

élethete között. A napi takarmány adag és annak kiosztása megegyezett az 1. modell kísérletnél leírtakkal. Az 1. és 2. modell kísérletekhez hasonlóan itt is megtörtént az alapanyagok beltartalmának mérése, az alapanyagokénti AMEn tartalom aktualizálása a receptúrák összeállítása előtt. A két osztott kezelési csoport délelőtti és délutáni takarmányainak energia (AMEn) és nyersfehérje tartalma, illetve az esszenciális aminosavak SID koncentrációi közel azonosak voltak. A délelőtti és délutáni keverékek egymáshoz viszonyított AMEn-, nyersfehérje- és az esszenciális aminosavak SID szintjeinek arányában a 2. modell kísérletnél alkalmazott arányt követtem (K kezelés). A délelőtti keverékek nyersfehérje és esszenciális SID aminosav szintjei a tenyésztő cég ajánlásainak figyelembevételével kerültek megállapításra (Hy-Line Performance Guide, 2024; Hy-Line International). A kísérleti állatok Ca-szükségletének megfelelő Ca-szinthez (4,38%) képest a K kezelés délelőtti keverékében kb. 20%-kal kisebb, a délutániban pedig kb. 20%-kal nagyobb Ca-szintet alkalmaztunk. A 2. modell kísérletben is ezt az elvet követtem, míg az 1. modell kísérletben a délutáni keverék Ca-szintje a szükséglethez képest csak kb. 13%-kal volt nagyobb. A CA kezelés esetében a délelőtti keverékben az eddigieknél nagyobb mértékű csökkentést, illetve a délutáni keverékben nagyobb mértékű növelést alkalmaztam: a délelőtti keverék a szükségletnél 38%-kal kisebb, a délutáni 35%-kal nagyobb volt.

2.1.3 Mérések és mintavételi eljárások

A kísérleti állatok testsúlyát heti szinten egyedileg mértem. A délelőtti és délutáni fázisok takarmányfelvétele (g/nap/tyúk), a tojástermelés (%) és a tojássúlyok (g) naponta rögzítve lettek. A mért adatokból tyúkonként a teljes kísérletre vonatkozóan számtani átlagot képeztem, majd az átlagokat statisztikailag értékeltem (n=24/csoport). A következő adatokat számítással határoztam meg egy tojótyúkra és a teljes kísérletre vonatkozóan: átlagos napi, illetve délelőtti és délutáni takarmányfelvétel (g/nap/tyúk), átlagos napi,

illetve délelőtti és délutáni fehérje-, kalcium- és foszforfelvétel (g/nap/tyúk) napi tojáshozam (g/nap/tyúk) és takarmány-értékesítés (kg takarmány/kg tojás). A kísérlet utolsó napján egy tojás begyűjtésre került minden állattól a tojásminőség mérése céljából, melyeket 4°C-on tároltunk. A tojásokat 24 óra tárolást követően 30 percen keresztül szobahőmérsékleten állni hagytam, majd a tojásminőségi paramétereket (tojáshéj szilárdság, sűrűfehérje magasság, Haugh-egység, sárgája szín, sárgája átmérő, sárgája magasság, sárgája index, héjvastagság) a Digital Egg Tester 6500 (Nabel Co., Kyoto 601-8444 Japan) nevű mérőműszerrel mértem.

Az utolsó héten a kísérleti takarmányok 0,5% titánium-dioxid indikátorral lettek kiegészítve. Négy napos adaptációs időszakot követően naponta, két egymást követő napon a teljes napi ürülék homogenizációját követően reprezentatív ürülminta-gyűjtést hajtottam végre. Az egyes madaraktól származó kétnapi mintákat egyesítettem, majd alapos homogenizációt követően -20 °C-os hőmérsékleten tároltam a későbbi mérésekig. Az ürülminták vizsgálata előtt a mintákat kíméletesen felolvastottam majd újabb homogenizációt követően meghatároztam az ürülék szárazanyag-tartalmát, összes-N, ammónium-N (NH_4^+ -N) és húgysav-N tartalmát

A kísérlet utolsó napján 8 órakor az állatokat széndioxidos kábítás alatt, a nyaki véna átvágásával kivéreztettem és minden állatból csípőbél (ileum) tartalom mintát gyűjtöttem. A mintavétel során először eltávolításra került a vékonybélnek a Meckel-féle diverticulumától az ileocekális beszájadás előtt 2-cm-ig tartó szakasza. A béltartalom mintákat az eltávolított vékonybél szakasz terminális kétharmadának desztillált vízzel történő átöblítésével nyertem. A mintavételt követően a kis mennyiségek miatt három állat béltartalom mintáját egyesítettem, így összesen kezelésenként 8 egyesített („poolozott”) mintát tároltunk -20°C-on az analízisig. Begyűjttem a levágott állatok mindkét sípcsontját (tibia) és főzés segítségével megtisztítottuk az

izom és porc maradványoktól. A letisztított csontokat mélyhűtve, -20°C -on tároltuk a kémiai analízisek, illetve a törésszilárdság mérések elvégzéséig.

2.1.4. Analitikai módszerek és számítások

Az analitikai mérések, a sípcsont minták törésszilárdságának meghatározása kivételével, a MATE ÉTI Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszékének laboratóriumában történtek, a Georgikon Campus Festetics Imre Bioinnovációs Központjában. A begyűjtött ürülék és béltartalom mintákat 60°C -on kemencében szárítottam 72 órán keresztül a további feldolgozás előtt, illetve mindhárom (takarmány, ürülék, béltartalom) mintatípus mintáit megdaráltam egy őrlőmalomban (Retsch ZM 100, Retsch GmbH and Co., K.G., Haan, Germany). Minden minta esetében két analitikai mérést végeztem, amelyek eredményeit átlagoltuk. A darált minták szárazanyag-tartalmát szárítószekrényben történő szárítást (105°C -on 24 órán keresztül, súlyállandóságig) követően határoztam meg (MSZ ISO 6496:2001).

A minták összes-N (nyersfehérje) tartalmát Kjeldahl módszere alapján (MSZ ISO 5983-1:2005), egy Foss-Kjeltec 8400 analizátor segítségével állapítottam meg (Nils Foss Allé 1, DK-3400 Hilleroed, Dánia). Az ürülék mintákból az $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ -t Peters (Peters et al., 2003) módszere alapján, míg a húgysav-N meghatározása Marquardt (Marquardt et al., 1983) eljárása szerint történt. Minden N-paraméter szárazanyag alapon került kiszámításra. A vizelet-N tartalmát az ammónium-N és a húgysav-N összegeként határoztam meg (O'dell, et al., 1960).

Meghatároztam a kísérleti takarmány keverékek nyerszsír (MSZ EN ISO 6492) és nyersrost tartalmát (MSZ EN ISO 6865:2001). A takarmány és ürülék mintákból a kalcium és a foszfor tartalmát is mértem. A száraz hamut eredményező előkészítést követően a minták felülúszó frakciójából a kalcium tartalom mérése atomabszorpciós spektrofotométerrel történt (MSZ EN ISO

6869:2001). A minták foszfortartalmát fotometriás módszerrel (MSZ EN ISO 6491:2001) állapítottam meg melynek során Biochrom Libra S12 UV-VIS spektrofotométert (Biochrom Ltd. Cambridge, UK) használtam. Az aminosavak koncentrációját a takarmányban és a bétartalomban is meghatároztam. A mintákat először hidrogén-peroxidban és hangyasav keverékében oxidáltam, majd 6 M HCl oldatban hidrolizáltam (MSZ EN ISO 13903:2005). Az aminosavak elkülönítésére és kimutatására egy automata aminosav analizáló berendezés szolgált (Amino Acid Analyser AAA 400; Ingos, Czech Republic). A kísérleti takarmánykeverékek, az ürülék- és bétartalom minták TiO_2 tartalmát UV-spektroszkópiás vizsgálat segítségével határoztam meg (Ferguson et al., 1998).

Az 1. modell kísérletben az állatonként begyűjtött és vizsgálatra előkészített két sípcsontból a bal oldalt a MATE Agrártudományi Vizsgálólaboratóriumába szállítottam Kaposvárra. A csont szilárdságát Zwick Roell Z005 típusú univerzális szakítógéppel vizsgálták, melyet a hozzá tartozó testXpert V11.0 vizsgáló szoftver vezérelt. A jobb oldali sípcsontot kemencében $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on 24 órán át szárítottam, majd Soxhlet-készülékben petroléter segítségével 16 órán át zsírtalanítottam. Ezt követően egy éjszakán át szárítószekrényben $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on szárítottam a száraz, zsírtalanított csont tömegének meghatározásához, majd kemencében 16 órán át $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on hamvasztottam (AOAC 972.15 módszer; AOAC, 1990). A sípcsont hamuszázalékát a száraz, zsírtalanított csonttömeg hamuként megmaradt súlyának felhasználásával számítottam ki. A csonthamuból származó Ca és P meghatározása a takarmány mintáknál leírt módszerekkel történt.

A nitrogén, kalcium és foszfor retenció meghatározásához a következő egyenletet alkalmaztam (Bregendahl et al. 2002): Látszólagos N retenció = $1 - \left(\frac{[\text{TiO}_2] \text{ takarmány}}{[\text{TiO}_2] \text{ ürülék}} \times \left(\frac{[\text{Elem}] \text{ ürülék}}{[\text{Elem}] \text{ takarmány}} \right) \right)$. Az egyenletben a $[\text{TiO}_2]$ a takarmányban, illetve ürülékben mért TiO_2

koncentrációt jelenti, míg az [Elem] a takarmányban, illetve ürülékben mért N, Ca és P koncentrációt. Az aminosavak látszólagos ileális emészthetőségének meghatározása során szintén a fenti egyenletet használtam, de a TiO_2 koncentráció mellett az egyes aminosavaknak a takarmányban és a béltartalomban mért koncentrációjával számoltam. Az osztott technológiai kísérleti keverékei esetében az indikátor, a nitrogén, a makroelemek és az aminosavak koncentrációját a következő képlettel állapítottam meg: Átlagos koncentráció = (délelőtti takarmány koncentráció $\times$ 0,4) + (délutáni takarmány koncentráció $\times$ 0,6).

2.1.5. Statisztikai analízis

Az adatok előkészítését a statisztikai analízisre a Microsoft Office Excel 2016 programmal végeztem el. Az adatokat normál eloszlásának (Kolmogorov-Szmirnov teszt) és a varianciák homogenitásának (Levene-teszt) ellenőrzését követően a takarmány kezelések hatását kétmintás (független) t-próbával értékeltem. Amennyiben az adatok normál eloszlásának vagy a varianciák homogenitásának előfeltétele nem teljesült, a Mann–Whitney-tesztet alkalmaztam. A kísérlet során az összes statisztikai analízist az SPSS 22.0 szoftvercsomag segítségével végeztem (IBM Corp., Armonk, NY, USA). A statisztikai szignifikanciát $P < 0,05$ értéknél határoztam meg

2.2. Nagyüzemi kísérlet anyagai és módszerei

2.2.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük

A nagyüzemi etetési kísérletet az UBM Feed Zrt-vel partneri kapcsolatban álló Fuchs Tojás Kft-nél, a cég Ajka-Bakonygyepes településen lévő II. számú telepén végeztem, ahol az osztott etetést a gyakorlatban is alkalmazták. A telepen két 700-700 m² alapterületű, mélyalmos, automata etető-itató rendszerrel ellátott azonos tartástechnológiájú istálló szolgált a kísérlet

elvégzésére. A két kísérleti istállóba 16 hetes életkorban 6000-6000 Nick Brown genotípusú jércét telepítették be, amelyből a kiesések miatt 5975 (B istálló) és 5962 (C istálló) állat kezdte meg a kísérleti takarmányok fogyasztását. Az istállók hőmérséklete $20 \pm 0,9$ °C volt, fényprogramként pedig 16 óra világos és 8 óra sötét szakasz, 30 lux fényerősség került beállításra

2.2.2. Kísérleti takarmány kezelések

A kísérletet megelőzően előkészítő átmeneti tápként 10 napig mindkét istállóban tojó I. takarmánykeveréket fogyasztottak a tyúkok a korábban etetett tojó starter keverékről a kísérleti keverékre való fokozatosabb átállás érdekében. A C jelű istállóban már ez az átmeneti keverék is osztott technológiával került kiosztásra a technológiai előkészítés céljából. A kísérleti tápok etetése az állatok 29. élethetében kezdődött meg, a B jelű istállóban hagyományos, a C jelű istállóban pedig osztott módon. A kísérlet az 1. modell kísérlettel párhuzamosan zajlott 10 héten keresztül, az állatok 38 hetes életkoráig. A kísérleti takarmánykeverékek előállítása az UBM cégcsoport Szeleste község területén lévő takarmánykeverőjében történt. A kísérleti takarmánykeverékek számított táplálóanyag-tartalma szinte teljesen megegyezett az 1. modell kísérletben alkalmazott keverékekre jellemző értékekkel, mivel azonos genotípusú és korú állomány takarmányozása történt azonos kísérleti kezelések mellett. Az 1. modell kísérlethez képest egyes takarmányalkotók arányai viszont különböztek, mert az alapanyagok mért táplálóanyag-tartalma kis mértékben eltért egymástól, illetve a nagyüzemi kísérletben egy gyógynövény keverék (kakukkfű 0,10% + kamillavirág 0,05%) is része volt a receptúrának. A kontroll csoport (K, n=6000) takarmánykeveréke esetében mind a délelőtti, mind a délutáni kiosztott keverék ugyanolyan összetételű volt a tenyésztő cég (Brown Nick Management Guide, 2024; H&N International) ajánlása alapján. Az osztott etetésű csoport (O;

n=6000) délelőtt és délután eltérő összetételű és adagú keveréket fogyasztott. A kontroll és az osztott kezelés délelőtti és délutáni keverékeinek energia- illetve táplálóanyag-tartalom arányai megegyeztek az 1. modell kísérletnél leírtakkal. A napi kiosztandó takarmányadag tervezése az előző három nap takarmányfogyasztásai alapján történt. Az állatok mindkét kezelésben reggel (4:00 órakor) a napi takarmány adag 40%-át, majd délután a napi takarmány adag további 60%-át kapták két részletben (12:00 órakor 40%, 17:00 órakor 20%), számítógéppel vezérelt automata etetőberendezés segítségével. Az O kezelés esetében a reggeli takarmány kiosztás a délelőtti, a további két takarmány kiosztás pedig a délutáni keverékből történt.

2.2.3 Mérések és mintavételi eljárások

A tojótyúkوك termelési paramétereinek adatgyűjtése részben az Animalsoft Kft. által forgalmazott Livestocker nevű telepi adatgyűjtő program által történt mindkét kísérleti istállóban. A program segítségével naponta automatikusan a következő adatokat rögzítették: állatlétszám, elhullások, tojás db-szám, tojástermelési %, takarmányfogyasztás. A programtól függetlenül mértem az állatok testsúlyát és a tojások súlyát. Az állatok testsúlyának mérése a kísérlet kezdetén és utána hetente történt, istállónként 25, az istállók öt pontjáról (n=5/mintavételi pont) véletlenszerűen kiválasztott állat testsúlyának egyedi mérésével. A teljes kísérlet alatt ez kezelésenként (istállónként) 250 állat mérését jelentette. Az adatokból mérési időpontonként számtani átlagot képeztem (n=25/kezelés), majd mindkét kezelés esetében kiszámítottam a teljes kísérletre vonatkozó átlagsúlyt (n=10/kezelés). Az elhullások számát naponta rögzítette a program, majd a teljes kísérletre vonatkozóan értékeltem az adatokat. A termelt ép, fészekbe lerakott tojások mennyisége (db; törött és alomtojás kivételével) és az ebből számolt tojástermelési intenzitás (%) szintén napi szinten került automatikusan rögzítésre és a kísérlet teljes hosszára vonatkozó kezelésenkénti átlagokat értékeltem. A kísérlet kezdetén,

majd utána hetente mindkét istállóból a délelőtti folyamán véletlenszerűen kiválasztottam 30 db friss tojást, amelyek egyedi súlyának mérését és átlagszámítását helyben elvégeztem ($n=30/\text{kezelés}$), illetve kiszámítottam a teljes kísérletre vonatkozó kezelésátlagokat ($n=10/\text{kezelés}$). A kísérlet kezdetén és a végén a helyben végzett tojás súlymérést követően az istállónként begyűjtött tojásokat a MATE ÉTI keszthelyi laboratóriumába szállítottam és még aznap a modell kísérleteknél ismertetett tojásminőségi paramétereket (tojáshéj szilárdság, sűrűfehérje magasság, Haugh-egység, sárgája szín, sárgája átmérő, sárgája magasság, sárgája index, héjvastagság) a Digital Egg Tester 6500 (Nabel Co., Kyoto 601-8444 Japan) nevű mérőműszerrel mértem. A takarmányfogyasztás esetében külön a délelőtti és a délutáni keverékekből elfogyasztott takarmány mennyisége nem volt rögzíthető, a napi kezelésenkénti takarmányfogyasztás mérése és az egyedi napi takarmányfelvétel számítása történt meg a telepi program segítségével. Ezen adatokat felhasználva az értékelést a teljes kísérletre vonatkozó átlagos egyedi napi takarmányfelvételre végeztem el (g/nap/tyúk). A kísérleti keverékek mért nyersfehérje tartalmának és a napi takarmányfelvételi adatok felhasználásával kiszámítottam a napi egyedi nyersfehérje felvételt, majd a két kezelési csoport teljes kísérletre vonatkozó átlagos napi egyedi nyersfehérje felvételét számítottam és értékeltem.

2.2.4. Analitikai és statisztikai módszerek

A kísérlet során analitikai mérésekre a takarmánykeverék minták esetében került sor a MATE ÉTI Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszékének laboratóriumában, a Georgikon Campus Festetics Imre Bioinnovációs Központban a modell kísérleteknél ismertetett módszerek szerint. Az adatok előkészítése és statisztikai analízise a modell kísérleteknél leírtak szerint történt.

3. Eredmények és értékelésük

3.1. Hagyományos és osztott etetési technológia összehasonlítása (1. modell és üzemi kísérlet)

A kísérleti állatok takarmányfelvételét a 1. táblázat tartalmazza. A modell kísérletben az osztott etetés hatására szignifikánsan kisebb volt a tyúkok takarmány- és nyersfehérje felvétele mind a délelőtti, mind a délutáni időszakban, illetve az egész napra vonatkozóan ($P < 0,001$). A teljes napi és a délutáni energia (AMEn) felvétel az osztott etetési csoportban kisebb volt, de a délelőtti keverékből a két csoport egyedeinek energia felvétele nem különbözött szignifikánsan. A mélyalmos üzemi kísérletben a napi takarmány- és energia felvételben nem volt igazolható különbség a két etetési technológia között, de itt is szignifikánsan kisebb nyersfehérje felvételt eredményezett az osztott etetési technológia ($P < 0,001$).

1. táblázat Napi takarmányfelvétel a modell és az üzemi kísérletben (g/nap/állat; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Modell kísérlet (29-40. élethét)			Üzemi kísérlet (29-38. élethét)
	Délelőtt	Délután	Összes	
K	45,1 $\pm$ 0,4	69,0 $\pm$ 0,5	114,0 $\pm$ 0,9	129,7 $\pm$ 1,0
O	42,9 $\pm$ 0,4	65,0 $\pm$ 0,4	107,8 $\pm$ 0,8	131,3 $\pm$ 0,6
<i>P</i> érték	<0,001	<0,001	<0,001	NS ²

¹K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés; ² NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)
Modell kísérlet: n=23/kezelés, Üzemi kísérlet: n=74/kezelés

A kísérleti állatok tojástermelési paramétereinek eredményei a 2. (modell kísérlet) és a 3. táblázatban (üzemi kísérlet) láthatók. A kísérletek teljes időszakára vonatkozó tojástermelési intenzitás, tojástömeg, napi tojástömeg nem különbözött szignifikánsan a két etetési rendszer összehasonlítása során egyik kísérletben sem ($P > 0,05$). A modell kísérletben az osztott etetés

szignifikánsan kedvezőbb takarmány-értékesítést eredményezett a hagyományos etetéshez képest ($P < 0,001$). Az üzemi mélyalmos kísérletben az etetési technológia a tojótyúkok takarmány-értékesítését nem befolyásolta ($P > 0,05$).

2. táblázat Tojástermelési jellemzők a modell kísérletben (29-40. élethét)
(átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Tojástermelési intenzitás (%)	Tojástömeg (g)	Napi tojástömeg (g/nap)	Takarmány- értékesítés (kg/kg)
K	98,5 $\pm$ 0,4	60,1 $\pm$ 0,6	59,1 $\pm$ 0,6	1,93 $\pm$ 0,01
O	98,0 $\pm$ 0,2	60,3 $\pm$ 0,7	59,0 $\pm$ 0,7	1,83 $\pm$ 0,02
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS	<0,001

¹K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés; n=23/kezelés;

²NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)

3. táblázat Tojástermelési jellemzők az üzemi kísérletben (29-40.élethét)
(átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Tojástermelési intenzitás (%)	Tojástömeg (g)	Takarmány- értékesítés (kg/kg)
K	92,4 $\pm$ 0,2	61,3 $\pm$ 0,3	2,15 $\pm$ 0,04
O	93,0 $\pm$ 0,2	61,0 $\pm$ 0,7	2,16 $\pm$ 0,02
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS

¹ K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés; ² NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$), tojástermelési intenzitás: n=59, tojástömeg és takarmány értékesítés: n=10

A tojótyúkok napi N felvétele az osztott etetés során szignifikánsan kisebb volt a hagyományos etetéshez képest ($P < 0,001$; 4. táblázat). A két csoportban hasonló volt a N-retenció átlaga, így az osztott kezelés hatására szignifikánsan kisebb N emissziót mutattunk ki ($P < 0,05$).

4. táblázat Nitrogén felvétel, retenció és emisszió (29-40.élethét; átlag ± SEM)

Kezelés ¹	N felvétel (g/nap/állat)	N retenció (%)	N emisszió (g/nap/állat)
K	2,80 ± 0,02	42,93 ± 1,00	1,60 ± 0,26
O	2,51 ± 0,02	40,52 ± 0,80	1,49 ± 0,28
<i>P</i> érték	<0,001	NS ²	<0,05

¹ K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés, n=23/kezelés; ² NS nem szignifikáns (P>0,05)

Az ürülék szárazanyag tartalmában nem, de az ürülék különböző N formáiban, továbbá az összes N tartalomban is szignifikáns különbségeket mutattunk ki a kísérlet során (5. táblázat). Az osztott etetés szignifikánsan csökkentette az ürülékben a bélsár-N, NH₄⁺-N, húgysav-N, vizelet-N és az összes N koncentrációját a kontroll etetéssel összehasonlítva.

5. táblázat Az ürülék szárazanyag-tartalma és N formáinak koncentrációja (29-40.élethét; átlag ± SEM)

Paraméter	Kezelés ¹		<i>P</i> érték
	K	O	
Szárazanyag (%)	20,18 ± 0,62	21,60 ± 0,41	NS ³
Bélsár-N (mg/g sz.a)	21,73 ± 0,43	20,53 ± 0,29	<0,05
NH ₄ ⁺ -N (mg/g sz.a)	7,12 ± 0,10	6,63 ± 0,10	<0,001
Húgysav-N (mg/g sz.a)	21,39 ± 0,20	20,11 ± 0,19	<0,001
Vizelet-N ² (mg/g sz.a)	28,51 ± 0,28	26,75 ± 0,25	<0,001
Összes N (mg/g sz.a)	50,24 ± 0,54	47,28 ± 0,47	<0,001

¹ K–hagyományos (kontroll) etetés, O – osztott etetés; ² az NH₄⁺-N és húgysav-N összege;

³ NS – nem szignifikáns (P>0,05)

3.2. Eltérő fehérje és aminosav ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (2. modell kísérlet)

A kísérleti állatok délelőtti, délutáni és napi takarmányfelvétele hasonló volt a két kezelési csoportban ($P>0,05$, 6. táblázat). A csökkent nyersfehérje szintű keverékek alkalmazása nem befolyásolta a kísérleti állatok AMEn felvételét, de szignifikánsan kisebb délelőtti, délutáni és napi nyersfehérje felvételt mértünk a kontroll kezeléshez képest ($P<0,001$, 6. táblázat).

6. táblázat A kísérleti állatok takarmányfelvétel és nyersfehérje felvétele (47-53.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Takarmányfelvétel (g/n/állat)			Nyersfehérje felvétel (g/nap/állat)		
	Délelőtt	Délután	Összes	Délelőtt	Délután	Összes
K	44,5 $\pm$ 0,3	67,9 $\pm$ 0,4	112,5 $\pm$ 0,7	7,2 $\pm$ 0,1	10,2 $\pm$ 0,1	17,4 $\pm$ 0,1
LP	44,6 $\pm$ 0,3	67,7 $\pm$ 0,5	112,3 $\pm$ 0,8	6,5 $\pm$ 0,1	8,9 $\pm$ 0,1	15,4 $\pm$ 0,1
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS	<0,001	<0,001	<0,001

¹K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés; ²NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

A kísérleti kezelések hatása a tojástermelési paraméterekre a 7. táblázatban látható. A csökkentett nyersfehérje szintű takarmányok fogyasztása növelte a kísérleti állatok tojástermelési intenzitását, ugyanakkor csökkentette a tojástömeget ($P<0,001$), és így nem befolyásolta szignifikánsan a megtermelt napi tojástömeg értékét. A két kísérleti csoportban a takarmányértékesítés nem különbözött igazolható mértékben ($P>0,05$).

7.táblázat A kísérleti kezelések hatása a tojástermelési paraméterekre (47-53.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Tojástermelési intenzitás (%)	Tojástömeg (g)	Napi tojástömeg (g/nap)	Takarmány értékesítés (kg/kg)
K	90,78 $\pm$ 1,4	63,9 $\pm$ 0,7	57,3 $\pm$ 0,8	1,97 $\pm$ 0,02
LP	94,75 $\pm$ 0,8	59,9 $\pm$ 0,7	56,7 $\pm$ 0,8	1,99 $\pm$ 0,03
<i>P</i> érték	<0,05	<0,001	NS ³	NS

¹K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés; ²NS – nem szignifikáns (P>0,05)

Kísérletünkben a csökkentett fehérje tartalmú keverékek etetésének hatására szignifikánsan kisebb volt a tojótyúkok N felvétele (P<0,001), viszont a N retenció és a N emisszió nem különbözött szignifikánsan a kontroll kezeléshez képest (8. táblázat).

8.táblázat Nitrogén felvétel, retenció és emisszió (47-53. élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	N felvétel (g/nap/állat)	N retenció (%)	N emisszió (g/nap/állat)
K	2,67 $\pm$ 0,02	38,23 $\pm$ 1,80	1,65 $\pm$ 0,05
LP	2,42 $\pm$ 0,02	35,60 $\pm$ 2,16	1,57 $\pm$ 0,06
<i>P</i> érték	<0,001	NS ²	NS

¹K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés;

²NS – nem szignifikáns (P>0,05)

3.3. Eltérő kalcium ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (3. modell kísérlet)

A tojótyúkok takarmányfelvételében nem tudtunk kimutatni szignifikáns különbségeket a két kezelési csoport között (P>0,05; 9. táblázat). Az eltérő Ca-ellátás nem befolyásolta szignifikáns mértékben a tojástermelési intenzitást, a tojástömeget, a napi tojástömeg és a takarmány-értékesítés

értékét (9. táblázat). A tojástermelési intenzitás esetében erős tendenciát mutattam ki a CA kezelés javára, amely csoportban kb. 2%-kal nagyobb volt a tojástermelési % a K csoporthoz képest ($P=0,05$).

9. táblázat A kísérleti kezelések hatása a takarmányfelvételre és a tojástermelési paraméterekre (62-68.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Takarmány felvétel (g/nap)	Tojástermelési intenzitás (%)	Tojástömeg (g)	Napi tojástömeg (g/nap)	Takarmány értékesítés (kg/kg)
K	113,7 $\pm$ 0,7	92,56 $\pm$ 0,9	62,3 $\pm$ 0,9	57,2 $\pm$ 0,8	1,99 $\pm$ 0,03
CA	113,0 $\pm$ 0,7	94,87 $\pm$ 1,0	61,1 $\pm$ 0,6	57,5 $\pm$ 0,9	1,97 $\pm$ 0,03
<i>P</i> érték	NS	NS ² ($=0,05$)	NS	NS	NS

¹K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés; ²NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

A tojásmínőségi jellemzők esetében a CA kezelés hatására termelt tojások sárgája indexe szignifikánsan meghaladta a K csoportban termelt tojásokét ($P<0,05$; 10. táblázat).

10. táblázat Kalcium felvétel, a tojáshéj minőségi paraméterei és a sárgasípcsont összetétele (62-68. élethét; átlag $\pm$ SEM)

Paraméter	Kezelés ¹		<i>P</i> érték
	K	CA	
Kalcium felvétel délelőtt (g/nap)	1,76 $\pm$ 0,01	1,38 $\pm$ 0,01	<0,001
Kalcium felvétel délután (g/nap)	3,81 $\pm$ 0,02	3,98 $\pm$ 0,03	<0,001
Kalcium felvétel összes (g/nap)	5,56 $\pm$ 0,03	5,36 $\pm$ 0,04	<0,001
Tojáshéj szilárdság (kgf) ²	3,72 $\pm$ 0,31	3,78 $\pm$ 0,24	NS ³
Tojáshéj vastagság (mm)	0,45 $\pm$ 0,01	0,44 $\pm$ 0,01	NS
Sárgasípcsont hamu tartalom (%)	52,27 $\pm$ 0,26	52,98 $\pm$ 0,22	NS
Sárgasípcsont kalcium tartalom (%)	18,68 $\pm$ 0,17	18,72 $\pm$ 0,20	NS
Sárgasípcsont foszfor tartalom (%)	8,60 $\pm$ 0,15	8,72 $\pm$ 0,17	NS

¹K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés; ²kgf – kilogramm töréserő;

³NS– nem szignifikáns ($P>0,05$)

A kísérleti kezelések hatása a tojótyúkوك nitrogén felvételére, retenciójára és emissziójára a 11. táblázatban látható. A CA kezelés nem befolyásolta a kísérleti állatok N felvételét, de nagyobb N retenciót és kisebb N emissziót eredményezett a K kezelés eredményeivel összehasonlítva ($P < 0,001$). Az ürülék szárazanyag-tartalma nem különbözött a két takarmányozási kezelés vonatkozásában, viszont valamennyi vizsgált N-forma szignifikánsan kisebb értékét mértük a CA kezelés hatására a K kezeléshez képest ($P < 0,05$; 12. táblázat).

11. táblázat Nitrogén felvétel, retenció és emisszió (62-68. élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	N felvétel (g/nap/állat)	N retenció (%)	N emisszió (g/nap/állat)
K	2,93 $\pm$ 0,02	44,18 $\pm$ 1,46	1,64 $\pm$ 0,04
CA	2,95 $\pm$ 0,02	51,79 $\pm$ 1,44	1,42 $\pm$ 0,04
<i>P</i> érték	NS ²	<0,001	<0,001

¹K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés;

²NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)

12. táblázat Az ürülék szárazanyag-tartalma és N-formáinak koncentrációja (62-68.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Paraméter	Kezelés ¹		<i>P</i> érték
	K	CA	
Szárazanyag (%)	26,65 $\pm$ 0,50	25,25 $\pm$ 0,53	NS ³
Bélsár-N (mg/g sz.a.)	24,17 $\pm$ 0,60	22,30 $\pm$ 0,69	<0,05
NH ₄ ⁺ -N (mg/g sz.a.)	4,51 $\pm$ 0,13	3,86 $\pm$ 0,19	<0,05
Húgysav-N (mg/g sz.a.)	12,18 $\pm$ 0,24	11,44 $\pm$ 0,25	<0,05
Vízelet-N ² (mg/g sz.a.)	16,69 $\pm$ 0,31	15,30 $\pm$ 0,32	<0,05
Összes N (mg/g sz.a.)	40,86 $\pm$ 0,81	37,60 $\pm$ 0,91	<0,05

¹K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés; ²NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$); ² az NH₄⁺-N és húgysav-N összege; ³ NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)

4. Következtetések és javaslatok

Kísérleteimben az osztott takarmányozási rendszer vizsgálata során az eddig alkalmazott technológiához képest több új módosítást is alkalmaztam a fehérje- és aminosav ellátás tekintetében. Az eddigi gyakorlat szerint az egész szemű gabonát nem alkalmazó osztott rendszer délelőtti keverékének nyersfehérje tartalma meghaladta a hagyományos technológiában ajánlott szükségleti értéket. Vizsgálataim során olyan délelőtti keverékeket állítottam össze, amelyek nyersfehérje tartalma újszerű módon megegyezett a technológiai ajánlásokban feltüntetett értékkel, a délutáni takarmánykeverékek nyersfehérje tartalma pedig ennél az értéknél kisebb volt. Ennek a módosításnak a feltételeként a keverékek aminosav tartalmának optimalizálása során nyolc esszenciális aminosav (lizin, metionin, arginin, valin, treonin, leucin, izoleucin, triptofán) SID koncentrációját vettem figyelembe a pontosabb aminosav ellátás érdekében. A délelőtti keverék kisebb nyersfehérje tartalmának következtében az új rendszer nemcsak gazdasági, hanem a kisebb nitrogén emisszió révén környezetvédelmi szempontból is előnyösebb. Kísérleteim során az új osztott rendszert két tojóhibriddel (Nick Brown és Hy-Line Brown) vizsgáltam, a jövőben ajánlott volna a technológia tesztelése további étkezési tojástartertermelő genotípusok bevonásával, illetve brojler szülőpár állományokkal. A kutatás során megfogalmazott tudományos eredmények a tojóciklus meghatározott vizsgált kísérleti időszakaira vonatkoznak, amelyek egyik témakör esetében sem fedték le a teljes tojástermelési időszakot. A vizsgálatokat ezért célszerű volna a teljes termelési időszakra kiterjeszteni.

Az ismertetett elvek alapján összeállított takarmánykeverékeket az 1. modell és üzemi kísérletben a hagyományos technológiával hasonlítottam össze a csúcstermelés időszakában. Az összehasonlítás során az osztott rendszer

semmiféle negatív hatását nem tapasztaltam a kísérleti állatok testsúlya, a tojástermelési paraméterek, a tojásmínőség szempontjából. Az 1. modell kísérletben az osztott rendszernél tapasztalt kisebb takarmányfelvétel, illetve energia (AMEn) és nyersfehérje felvétel ellenére a hagyományos takarmányozási csoporttal megegyező volt a tojótyúkok tojástermelési intenzitása és tojástömege, így a kontrollnál kedvezőbb takarmányértékesítés volt mérhető. A tojásmínőség tekintetében kiemelendő a hagyományos rendszerhez képest tapasztalt nagyobb tojáshéj vastagság az osztott rendszerben. A csúcstermelésben lévő tojótyúkok sípcsontjának összetétele és törésszilárdsága hasonló volt a vizsgált két rendszerben, a csont egészségét az osztott technológia nem veszélyeztette. Kedvező eredményeim alapján a vizsgált osztott rendszerünk feljavított ketreces technológiájú nagyüzemi körülmények között is kipróbálásra ajánlható. A teljes tojóciklusú nagyüzemi alkalmazás előtt javasolom az idős, a termelési ciklus végén lévő kísérleti állatokkal is egy összehasonlító modell kísérlet elvégzését. Amennyiben az osztott keverékek a hagyományos takarmánykeverékekkel azonos, vagy a nyersfehérje tartalmuk alapján valószínűsíthetően kisebb áron állíthatók elő, akkor az osztott rendszer a működés során gazdaságosabb termelést tehet lehetővé. A Fuchs Tojás Kft. által a gyakorlatban jelenleg is működtetett osztott rendszerben mélyalmos körülmények között végezhettem üzemi kísérletet, ahol a hagyományos technológiával összehasonlítva hasonló termelési eredmények születtek a tojók kisebb nyersfehérje felvétele ellenére. Az üzemi körülmények között viszonylag rövidnek számító vizsgálatomat érdemes volna a teljes tojóciklusra, illetve a madárház és a szabad tartásos tartástechnológiákra is kiterjeszteni.

Kísérleteim során először mutattam ki, hogy az osztott takarmányozási rendszerben termelő tojótyúkok nem csak kevesebb nitrogént bocsátanak ki a környezetükbe, elsősorban a kisebb N felvételük miatt, mint a hagyományos

takarmányozásban részesülők, hanem az ürülékben jelen lévő N formák koncentrációja is kedvezőbb. Eredményeim alapján az ammónia emisszió szempontjából előnyösebb az osztott technológiában keletkező ürülék, amely kisebb koncentrációban tartalmazza az NH_4^+ - és húgysav-N összegeként számított vizelet-N-t. Az osztott rendszerben termelő kísérleti állatok esetében a kontrollnál kisebb napi mennyiségben, de az élettani szükségleteknek megfelelőbb napi ritmusban felvett kalcium azonos termelési színvonalat biztosított és közben a környezetbe jutó kalcium állatonként mért napi mennyisége is csökkent. Az osztott etetés viszont ezzel szemben nem alkalmas a tojótyúkók foszfor emissziójának csökkentésére, mert modell kísérletemben a hagyományos és az osztott rendszerben termelő tojótyúkók P emissziója nem különbözött szignifikáns mértékben.

A 2. modell kísérletben az 1. modell kísérletben alkalmazott osztott rendszert és annak csökkentett nyersfehérje szintű változatát (LP) hasonlítottam össze, amelyet korábban még nem vizsgáltak. A kontroll osztott takarmánykeverékekhez képest mind a délelőtti, mind a délutáni LP keverékek 2%-kal kisebb nyersfehérje szinttel rendelkeztek, de a SID lizin, metionin, metionin+cisztin, treonin, valin és arginin koncentrációk azonosak voltak. Az LP keverékek hatására a tojótyúkók több, de kisebb tömegű tojást termeltek a kísérlet hat hete során. A tojástömeg csökkenésének megelőzésére véleményem szerint megoldást jelenthet az LP keverékek SID leucin, izoleucin, triptofán szintjeinek optimalizálása. A csökkentett nyersfehérje szintű keverékekkel etetett tojótyúkók ürülékében, bár nitrogén felvételük kisebb volt, nem csökkent szignifikánsan az összes N tartalom, illetve a különböző N-formák koncentrációiban sem volt eltérés a kontroll nyersfehérje szintű kezeléshez képest.

A 3. modell kísérletem lehetővé tette két eltérő kalcium ellátás osztott rendszerben történő összehasonlítását a korábbi vizsgálatokhoz sokkal

pontosabb módon, az eltérő energia, fehérje és foszfor ellátás befolyásoló hatásait mellőzve. A kontroll kalcium ellátáshoz képest a CA kezelés, amely a délelőtti keverékben kisebb, a délutániban nagyobb Ca tartalommal rendelkezett. A délelőtti és délutáni Ca szintek között nagyobb különbséget biztosító CA keverék kombináció nem befolyásolta szignifikánsan a tojástermelési jellemzőket, a tojáshéj vastagságát és a héj törésszilárdságát, a sápcsont összetételét ($P>0,05$), de jobb N retenciót, így kisebb N emissziót és az ammónia emisszió szempontjából kedvezőbb N összetételű ürüléket eredményezett. A CA kezelés valószínűleg nagyüzemben is kisebb és kedvezőbb összetételű N emisszióval együtt járó tojástermelést biztosít, tesztelését mindenképpen javaslom.

5. Új tudományos eredmények

1. Tojótyúkokkal (Nick Brown és Hy-Line Brown hibridekkel) végzett vizsgálataim során elsőként alkalmaztam olyan osztott takarmányozási rendszert, ahol a délelőtti keverék nyersfehérje tartalma megegyezett a technológiai ajánlásokban feltüntetett értékkel (100%), a délutáni takarmánykeverékek nyersfehérje tartalma pedig ennél az értéknél kisebb volt (92%). Ennek a módosításnak a feltételeként a keverékek aminosav tartalmának optimalizálása során nyolc esszenciális aminosav (lizin, metionin, arginin, valin, treonin, leucin, izoleucin, triptofán) SID koncentrációját vettem figyelembe a pontosabb aminosav ellátás érdekében.

2. A vizsgált új osztott takarmányozási rendszer feljavított ketreces technológiában, a csúcstermelés időszakában (29-40. élethét) kisebb takarmányfelvétel mellett a hagyományos takarmányozási technológiával megegyező tojástermelési intenzitást és tojástömeget, így kedvezőbb takarmány-értékesítést biztosít, illetve mélyalmos üzemi körülmények között is (29-38. élethét) alkalmas a hagyományos takarmányozási technológiához hasonló tojástermelés eredmények (tojástermelési intenzitás, tojástömeg, takarmány-értékesítés) elérésére.

3. A vizsgált új osztott takarmányozási rendszerben termelő tojótyúkok kisebb nitrogén felvételük miatt kevesebb nitrogént bocsátanak ki a környezetükbe, mint a hagyományos takarmányozásban részesülők, illetve az ürülékben jelen lévő nitrogénformák koncentrációja az ammónia emisszió szempontjából kedvezőbb a kisebb koncentrációban jelen lévő vizelet nitrogén (NH_4^+ - és húgysav-tartalom) miatt.

4. A vizsgált új osztott takarmányozási rendszer 2%-kal csökkentett nyersfehérje szintű, de azonos SID lizin, metionin, metionin+cisztein, treonin, valin és arginin koncentrációjú takarmánykeverékekkel összeállított változata

feljavított ketreces technológiában a 47-53. élethét között a kontroll osztott takarmánykeverékekhez képest hasonló takarmányfelvétel és takarmányértékesítés mellett kisebb nyersfehérje felvételt, nagyobb tojástermelési intenzitást és kisebb tojástömeget eredményez

5. A vizsgált új osztott takarmányozási rendszerben a délelőtti keverékben a kalcium-tartalom a szükségletnél 38%-kal kisebb, a délutáni keverékben 35%-kal nagyobb értékre történő beállítása nem befolyásolja számottevően a tojástermelési paramétereket, a tojáshéj vastagságát és törésszilárdságát, valamint a sípcsont összetételét. Ugyanakkor, hatására nagyobb nitrogén retenció és kisebb nitrogén emisszió, továbbá az ammónia emisszió szempontjából kedvezőbb nitrogén összetételű ürülék képződik a 62-68. élethéten, modell körülmények között, feljavított ketreces tartásban.

6. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

I. Szakcikk idegen nyelvű lektorált folyóiratban

Horváth, Boglárka; Strifler, Patrik; Such, Nikoletta; Wágner, László; Dublec, Károly; Baranyay, Henrik; Bustyaházai, László; Pál, László (2024): Developing a more sustainable protein and amino acid supply of laying hens in a split feeding system. *Animals*, 14 (20), 3006. <https://doi.org/10.3390/ani14203006>

II. Szakcikk magyar nyelvű lektorált folyóiratban

Horváth Boglárka, Baranyay Henrik, Such Nikoletta, Wágner László, Dublec Károly, Pál László (2025): Alternatív tojótyúk takarmányozási rendszerek lehetőségei és korlátai. *Állattenyésztés és Takarmányozás*. 2025.74.2. (közlésre elfogadva).

Horváth Boglárka, Baranyay Henrik, Such Nikoletta, Wágner László, Dublec Károly, Pál László: Tojótyúkok eltérő kalcium ellátásának vizsgálata osztott etetési technológiában. *Állattenyésztés és Takarmányozás*. 2025.74.2. (közlésre elfogadva).

III. Konferencia kiadványban teljes terjedelemben megjelent közlemény

Horváth Boglárka, Strifler Patrik, Such Nikoletta Amanda, Janecsó Szilvia, Baranyay Henrik, Pál László (2021): Osztott takarmányozási rendszer hatásának vizsgálata tojótyúkok termelési eredményeire üzemi körülmények között In: Bene, Szabolcs (szerk.) XXVII. Ifjúsági Tudományos Fórum, Keszthely, (2021.05.20), Konferenciakötet, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus, ISBN 978-615-6338-04-4, pp. 15-20.

IV. Konferencia kiadvány összefoglaló kötetében megjelent közlemény

Horváth Boglárka, Strifler Patrik, Such Nikoletta, Pál László, Janecsó Szilvia, Baranyai Henrik, Pál László (2021): Osztott takarmányozási rendszer hatásának vizsgálata tojótyúkok nitrogén és kalcium retenciójára LXIII. Georgikon Napok Keszthely, 2021.10.7-8., Kivonatkiadvány, p. 24.

Horváth, Boglárka; Strifler, Patrik; Such, Nikoletta; Janecskó, Szilvia; Baranyai, Henrik; Pál; László (2022): Effect of split feeding system on nitrogen retention of laying hens. In: Proceedings of the 26th World's Poultry Congress, Paris, France (7-11. August 2022), p. 246.

7. Irodalomjegyzék

Bregendahl, K., Sell, J.L., Zimmerman, D.R. (2002) Effect of Low-Protein Diets on Growth Performance and Body Composition of Broiler Chicks. In: *Poultry Science* 81: 1156–1167. p. doi: 10.1093/ps/81.8.1156

de Los Mozos, J.; Navarro-Villa, A.; García-Ruíz, A.I. (2015) Splitfeeding System Reduces Second Grade Eggs in the Late Production Phase of Laying Hens. In Proceedings of the 20th European Symposium on Poultry Nutrition, Prague, Czech Republic, 24–27 August 2015.

Ferguson, N.S., Gates, R.S., Taraba, J.L., Cantor, A.H., Pescatore, A.J., Ford, M.J., Burnham, D.J. (1998) The Effect of Dietary Crude Protein on Growth, Ammonia Concentration, and Litter Composition in Broilers. In: *Poultry Science*, 77: 1481–1487.p

Lee, K.H.; Ohh, Y.S. (2002) Effects of Nutrient Levels and Feeding Regimen of a.m. and p.m. Diets on Laying Hen Performances and Feed Cost. In: *Korean Journal of Poultry Science*, 29: 195–204 p.

Marquardt, R.R.; Ward, A.T.; Campbell, L.D. (1983) A Rapid High-Performance Liquid Chromatographic Method for the Quantitation of Uric Acid in Excreta and Tissue Samples. In: *Poultry Science*, 62 (10): 2099–2105 p, doi: 10.3382/ps.0622099

Molnár, A.; Hamelin, C.; Delezie, E.; Nys, Y. (2018) Sequential and Choice Feeding in Laying Hens: Adapting Nutrient Supply to Requirements during the Egg Formation Cycle. In: *World's Poultry Science Journal*, 74 (2): 199–210 p. doi: 10.1017/S0043933918000247

O'dell, B.L., Woods, W.D., Laerdal, O.A., Jeffay, A.M., Savage, J.E. (1960) Distribution of the major nitrogenous compounds and amino acids in chicken Urine. *Poultry Science* 39: 426–432.p. doi: 10.3382/ps.0390426

Umar Faruk, M., Bouvarel, I., Mème, N., Rideau, N., Roffidal, L., Tukur, H.M., Bastianelli, D., Nys, Y. and Lescoat, P. (2010) Sequential feeding using whole wheat and a separate protein-mineral concentrate improved feed efficiency in laying hens. In: *Poultry Science* 89: 785–96. p. doi:10.3382/ps.2009-00360