



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

A hőstressz csökkentésének lehetőségei tejelő szarvasmarhákban

Doktori (PhD) értekezés

Szalai Szilvia

Gödöllő

2025

A doktori iskola

megnevezése: Állatbiotechnológiai és Állattudományi Doktori Iskola

tudományága: Állattenyésztés-tudomány

vezetője: Prof. Dr. Mézes Miklós
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem,
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Élettani és Takarmányozási Intézet, Takarmánybiztonsági Tanszék

témavezető: Dr. Bodnár Ákos
egyetemi docens
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem,
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Állattenyésztési Tudományok Intézet,
Állattenyésztés-technológiai és Állatjólléti Tanszék

társtémavezető: Dr. Jurkovich Viktor PhD
tudományos főmunkatárs
Állatorvostudományi Egyetem,
Állatvédelmi Központ

A témavezető jóváhagyása

A társtémavezető jóváhagyása

Az iskolavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	1
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	4
1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK.....	6
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	8
2.1. A hőstressz hatásai a tejelő szarvasmarhákra	8
2.1.1. A hőstressz hatása az egyes élettani paraméterekre	11
2.1.2. A hőstressz hatása a viselkedésre	12
2.1.3. A hőstressz hatása a termelési mutatókra	14
2.1.4. A hőstressz hatása a szaporodásbiológiai teljesítményre	15
2.2. A hőstressz csökkentésére irányuló tartás- és takarmányozástechnológiai megoldások	17
2.2.1. Árnyékolás.....	17
2.2.2. Tehén-és istállóhűtés	18
2.2.3. Takarmányozási módszerek	20
2.3. A (hő)stressz vizsgálatának módszerei	22
2.3.1. Nem-invazív módszerek.....	22
2.3.2. Invazív módszerek.....	25
3. SAJÁT VIZSGÁLATOK.....	26
3.1. Az árnyékolás hatása tejhasznú borjak viselkedési és élettani paramétereinek alakulására hőterhelt és hősemleges időszakban.....	26
3.1.1 A vizsgálat jelentősége	26
3.1.2. Anyag és módszer	27
3.1.2.1. A kísérlet helyszíne és elrendezése	27
3.1.2.2. Az állatok mikrokörnyezete	28
3.1.2.3. A légzésszám és testhőmérséklet mérése	28
3.1.2.4. A szívritmus mérése	29
3.1.2.5. A nyálmintavételek.....	29
3.1.2.6. Kortizol koncentráció mérése.....	29
3.1.3. Statisztikai értékelés	30
3.1.4. Eredmények.....	31
3.1.4.1. Az élettani paraméterek összefüggése a környezeti hőmérséklettel és THI-vel.....	31
3.1.4.2. A rektális hőmérséklet változása	33
3.1.4.3. A légzési frekvencia változása	34
3.1.4.4. A szívritmus változása.....	36
3.1.4.5. A nyál kortizol koncentráció változása	38
3.1.5. Megbeszélés	39

3.2. Hatékonyabb ventilációs hűtés hatása a tejtermelő tehenek testhőmérsékletére, viselkedésére és termelésére hőterhelt időszakban	41
3.2.1. A vizsgálat jelentősége	41
3.2.2. Anyag és módszer	42
3.2.2.1. Az állatok mikrokörnyezete	43
3.2.2.2. Az állatok testhőmérséklete.....	44
3.2.2.3. Fekvési viselkedés	45
3.2.2.4. Takarmányfelvétel, kérődzés, tejtermelési adatok	45
3.2.2.5. Biológiai minták	45
3.2.2.6. Génexpresszió és a gyulladásos markerek vizsgálata.....	46
3.2.3. Statisztikai elemzés	48
3.2.4. Eredmények.....	49
3.2.4.1. Az istálló mikroklímája és légsebesség.....	49
3.2.4.2. A testhőmérséklet változása	51
3.2.4.3. Fekvési viselkedés változása	54
3.2.4.4. Kérődzési idő és a takarmányfelvétel gyakorisága.....	55
3.2.4.5. A tejtermelés alakulása.....	56
3.2.4.6. Génexpressziós vizsgálatok eredményei	58
3.2.5. Megbeszélés	61
3.3. A hőstressz hatása a kérődzésre, bendőhőmérsékletre és aktivitásra az ellés körüli időszakban egészséges és tranzíciós betegségekkel küzdő teheneknél	63
3.3.1. A vizsgálat jelentősége	63
3.3.2. Anyag és módszer	64
3.3.2.1. Állatok és telepi menedzsment.....	64
3.3.2.2. Az istálló mikroklímájának vizsgálata	64
3.3.2.3. Kérődzési idő és aktivitás rögzítése	65
3.3.3. Statisztikai elemzés	67
3.3.4. Eredmények.....	68
3.3.4.1. A környezeti hőmérséklet és THI alakulása a kísérleti időszakban	68
3.3.4.2. Az istálló mikroklíma és a bendőhőmérséklet közötti összefüggések.....	69
3.3.4.3. A bendőhőmérséklet és a THI összefüggései	69
3.3.4.4. A bendőhőmérséklet alakulása az ellés körüli időszakban.....	70
3.3.4.5. A kérődzési idő alakulása az ellés körüli időszakban.....	72
3.3.4.6. Az aktivitás alakulása az elléskörüli időszakban.....	74
3.3.5. Megbeszélés	74
3.4. A hőstressz hatása az ivarzási viselkedésre és a vemhesülés eredményességére	77
3.4.1. A vizsgálat jelentősége	77

3.4.2. Anyag és módszer	78
3.4.2.1. Kísérlet helyszíne és állatok	78
3.4.2.2. Az istálló mikroklímája	79
3.4.2.3. Ovuláció szinkronizáció program.....	80
3.4.2.4. Ivarzási tünetek értékelése.....	81
3.4.2.5. Kamerarendszer.....	82
3.4.2.6. Aktivitás	84
3.4.2.7. Biológiai minták	84
3.4.3. Statisztikai értékelés	86
3.4.4. Eredmények.....	87
3.4.4.1. Az istálló mikroklímája	87
3.4.4.2. Hormon vizsgálat eredményei	88
3.4.4.3. Az ivarzási viselkedés értékelése az aktivitásjelző rendszer és a videóanalízis alapján ...	88
3.4.4.4. Az ivarzás intenzitásának eloszlása hőterhelt és hősemleges időszakban.....	90
3.4.4.5. Az átlagos ösztadiol koncentráció alakulása az évszak függvényében.....	91
3.4.4.6. A vemhesült tehenek arányának alakulása	92
3.4.5. Megbeszélés	94
4. KÖVETKEZTETÉSEK	96
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	97
6. ÖSSZEFOGLALÁS	99
7. SUMMARY.....	101
FELHASZNÁLT IRODALOM	103
MELLÉKLETEK.....	124
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	127

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület)
TNZ	thermoneutral zone (termoneutrális zóna)
HR	heart rate (szívritmus)
HRV	heart rate variability (szívritmus változékonyság)
RT	rectal temperature (rektális hőmérséklet)
RRT	reticulo-rumen temperature (recés-bendő hőmérséklet)
RT	rumination time (kérődzési idő)
VT	vaginal temperature (hüvelyi hőmérséklet)
ST	subcutan temperature (bőr alatti hőmérséklet)
HSP	heat shock protein (hősokk fehérje)
TAI	timed artificial insemination (időzített mesterséges termékenyítés)
THI	temperature humidity index (hőmérséklet-páratartalom index)
RH	relative humidity (relatív-páratartalom)
HS	heat stress (hőstressz)
NHS	non-heat stress (nem hőstressz)
HHM	hipotalamus-hipofízis mellékvese
HVLS	high volume low speed (nagy térfogatú, alacsony sebességű)
LVHS	low volume high speed (nagy térfogatú, alacsony sebességű)
DMI	dry matter intake (szárazanyag bevitel)
DIM	days in milk (tejelő napok)
GnRH	gonadotrop releasing hormon (gonadotrop felszabadító hormon)
PGF2α	prostaglandin F2-alpha (prosztaglandin F2-alfa)
ADF	acid detergent fiber (sav detergens rost)
NDF	neutral detergent fiber (neutrális detergens rost)
RNS	ribonukleinsav
CIDR	controlled internal drug release (szabályozott belső hatóanyag felszabadulás)
Hp	haptoglobin
APP	acute-phase-protein (akut fázisú fehérje)
ACTH	adrenocorticotrop hormon
GAS	general adaptation syndrome (általános adaptációs szindróma)
OS	oxidatív stressz

PLF	precision livestock farming (precíziós állattenyésztés)
FSH	follikulus stimuláló hormon
LH	luteinizáló hormon
ET	embrió transzfer
EKG	elektrokardiogram
TMR	total mixed ration (teljes takarmánykeverék)
AT	ambient temperature (környezeti hőmérséklet)
BST	body surface temperature (testfelszín hőmérséklet)
RIA	radioimmunoassay (radioimmunoanalízis)
NEB	negative energy balance (negatív energia egyensúly)
IGF-1	insulin-like growth factor-1 (inzulinszerű növekedési faktor-1)
OVS	OvSynch (ovuláció szinkronizálás)

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A klímaváltozás következtében hazánkban is egyre nagyobb figyelmet kap a hőstressz, amelynek negatív gazdasági hatásait az agrárium minden területén, így az állattenyésztésben is közvetve és közvetlenül tapasztalhatjuk. Különösen igaz ez, a nagy tejtermelésű holstein-fríz szarvasmarha fajtára, amely érzékenyen reagál az optimálisnál magasabb hőmérsékletre. Évtizedek óta folynak nemzetközi kutatások annak érdekében, hogy hőstresszes időszakokban minél hatékonyabb termelést tudjanak fenntartani a tejtermelő tehenészetek.

A kutatók úgy jósolják, hogy 2100-ra a globális átlagos felszíni hőmérséklet emelkedés mértéke 1,8 és 4,0 °C közé fog esni (IPCC, 2007), tehát a hőstressz állattenyésztésre gyakorolt negatív hatásai a jövőben egyre súlyosbodhatnak. A környezet kedvezőtlen változásával párhuzamosan a világ népességének az élelmiszer-ellátási igénye továbbra is gyorsan növekszik, többszörös teherként nehezedve az állattenyésztési ágazatra (Renaudeau *et al.*, 2012).

Az innováció, a tudomány több különböző oldalról is vizsgálja a problémát, melynek közös célja a hőstressz okozta káros hatások mérséklése és az abból származó gazdasági károk csökkentése. Ahhoz, hogy a tejelő szarvasmarha ágazatban fenntartható és megtérülő fejlesztések történjenek, ismerni kell az alapvető élettani, fiziológias folyamatokat és azok zavarai következtében fellépő kedvezőtlen változásokat. Az innovatív megoldásoknak és a genetikai előrehaladásnak köszönhetően az elmúlt évtizedekben a fajlagos hozamok hatalmas növekedést mutatnak (pl. laktációs tejtermelés). A nagyobb termelés következtében fokozódik az anyagcsere és ezzel párhuzamosan a stressz-érzékenység is. Éppen ezért, a kedvezőtlen környezeti tényezők, mint pl. az optimálisnál magasabb hőmérséklet, kritikusak lehetnek termelési és súlyosabb esetben életfenntartási szempontból is.

A hőterhelt időszakok negatívan befolyásolják a szaporodásbiológiai és termelési eredményeket, ezáltal a gazdasági mutatókat. A cél, hogy olyan feltételeket teremtsünk, amelyek elősegítik a termelési és reprodukciós teljesítmény szinten tartását ezekben az időszakokban. A termelési és élettani paraméterek összefüggései alapján számos innovatív megoldás kínálkozik, amelyek a fenntartható állattenyésztésbe illeszthetők. A hőstressz csökkentése a tejelő szarvasmarhák esetében multidiszciplináris megközelítést igényel, melynek magában kell foglalnia a megfelelő tartástechnológiát, a környezeti feltételek szabályozását, a menedzsmentet, a tenyésztést és a hőstresszre optimalizált takarmányozást.

Célkitűzések

Dolgozatomban a hőstressz jelentőségét vizsgálom a hazai holstein-fríz tejelő szarvasmarhák körében borjú korban és felnőtt tejtermelő tehenek különböző életszakaszaiban. A klímaváltozás következtében fellépő egyre hosszabb és melegebb nyarak kihívás elé állítják az ágazatot. A gazdaságos termelés fenntartása érdekében okszerű intézkedéseket szükséges elvégezni. Ehhez nélkülözhetetlen követni az állatok élettani-és viselkedésbeli változásait és optimális környezetet biztosítani számukra, különösen a kritikus időszakokban.

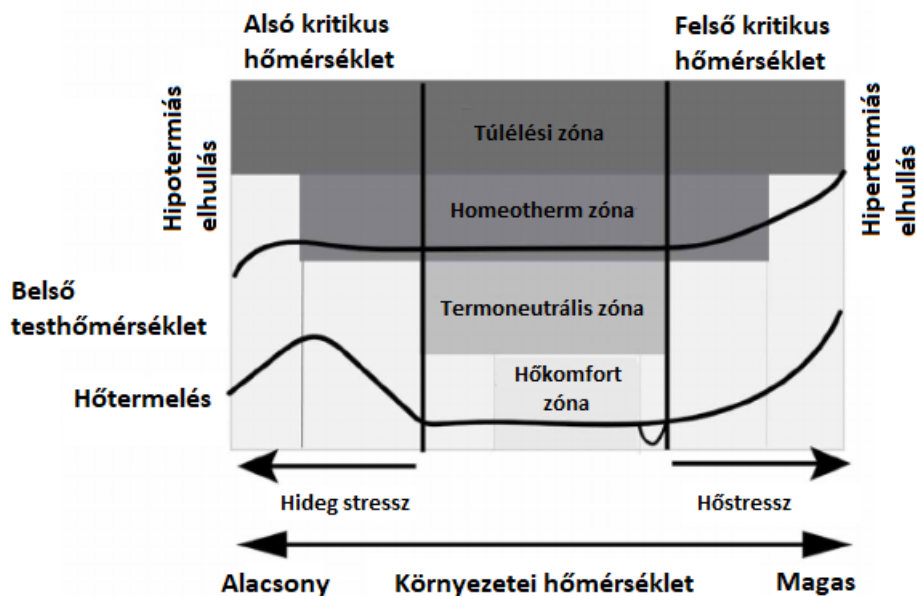
A disszertációban négy különböző életszakaszban vizsgálom a hőstressz során felmerülő élettani és viselkedésbeli változásokat:

1. Az árnyékolás hatásának vizsgálata tejhasznú borjak viselkedés-és élettani változásaira a környezeti hőmérséklet és páratartalom függvényében. Különböző paraméterek (testhőmérséklet, légzésszám, szívritmus, nyálkortizol) monitorozása hőstresszes és hősemleges időszakokban.
2. Régi és új típusú ventilátorok hatékonyságának vizsgálata tejtermelő tehenek viselkedési és élettani paraméterein keresztül, mely kiterjed az állatok mikrokozonyzetének vizsgálatára, a testhőmérséklet, takarmányfelvétel és kérődzési idő, a fekvési viselkedés, valamint a tejtermelés alakulására hőterhelt időszakokban.
3. Az ellés körüli hőstressz hatása a tranzíciós időszak alatt előforduló megbetegedések (ketózis, mastitis, metritis) előfordulására. Precíziós eszközök (nyaktranszponder, bendőbólushz) által gyűjtött adatok (bendőhőmérséklet, kérődzési idő, aktivitás) összefüggéseinek elemzése, valamint a betegségek előrejelezhetőségének lehetőségei.
4. A nyári gyengébb vemhesülési eredmények hátterében meghúzódó viselkedésbeli eltérések, az ivarzás kifejeződésének megfigyelése több aspektusból (kamerafelvételek, aktivitásjelző, érzékszervi bírálat). Különböző hormonszintek meghatározása vérből hőstresszes és hősemleges időszakokban, valamint a vemhesülés eredményességének alakulása.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A hőstressz hatásai a tejelő szarvasmarhákra

A hőstressz közvetlen és közvetett hatással lehet az állatok normál élettani, anyagforgalmi, hormonális működésére és immunrendszerére. Közvetlen hatás alatt a hőmérséklet-növekedéssel közvetlenül összefüggő megbetegedéseket, illetve az elhullást értjük. Közvetett hatás a csökkent takarmányfelvétel, a mikrobák felgyorsult szaporodása, a vektorok által közvetített betegségek terjedése, valamint a gazdaszervezet csökkent védekezőképessége (Bernabucci *et al.*, 2010). Az egyre gyakrabban előforduló szélsőségesen meleg időjárási környezet rontja a szarvasmarhák jóllétét és termelési mutatóit (Kovács *et al.*, 2020) és növeli azok elhullási arányát (Morignat *et al.*, 2015). A nagy tejtermelésű tejelő fajták, különösen a holstein-fríz esetében a termoneutrális zóna (TNZ) 5 és 25 °C közé tehető. Ebben a hőmérséklet-tartományban az állatok külön energiabefektetés nélkül tudják leadni az anyagcseréből származó hőt (1. kép).



1. kép: A környezeti hőmérséklet és a hőstressz közötti kapcsolat
(Silanikove & Darcan, 2015)

A szarvasmarhák állandó szinten tudják tartani testhőmérsékletüket, amíg bőrfelületükön mért hőmérsékletük el nem éri a 35 °C -ot. E fölött a szervezet hőleadási képessége csökken, a testhőmérséklet emelkedik és aktiválódik a hőstresszválasz (Berman, 2005). A *Bos taurus* eredetű tejtermelő tehenek már megnövekedett belső hőterheléssel rendelkeznek a magas tejtermelés és intenzív anyagcsere miatt (Chebel *et al.*, 2004), ami fokozódik, ha a hőmérséklet és a páratartalom értékek emelkednek az állatot körülvevő környezetben (West, 2003). Egy kísérletben szárazonálló

és termelő (alacsony és magas tejhozamú) teheneket hasonlítottak össze és azt tapasztalták, hogy az alacsony tejhozamú tehenek 27%-kal, a magas tejhozamú tehenek 48%-kal több hőt termeltek a nem laktáló társaikhoz képest (*Ríos-Utrera et al.*, 2013). A hőstressz látható jelei közül a legszembetűnőbb a lihegés, melynek fokozódása leginkább a délutáni órákban figyelhető meg, ami a melegebb órákkal függ össze (*Lees et al.*, 2019; *Ramón-Moragues et al.*, 2021). Ha a légzésszám tehén esetében 85/perc fölé emelkedik, akkor az állat erős hőstresszes állapotban van (*Collier et al.*, (2003). Borjak esetében is hasonló változás figyelhető meg a légzésszámban hőstressz esetén. Egy vizsgálatban az átlagos 50-78-ról 73-105-re emelkedett a borjak légzésszáma (*Peña et al.*, 2016) . Először a gyors, felületos légzéssel a légutak felső részén áthaladó levegő mennyisége növekedik, majd a hőmérséklet további emelkedésével egy lassabb, mélyebb alveoláris légzés alakul ki, ami javítja a párolgási hőveszteséget, növelve a légzés térfogatát. Ez azonban respirációs alkalózist eredményezhet a vérben és mérsékelt-súlyos kiszáradáshoz vezethet (*Renaudeau et al.*, 2012). A nappali hiperventilláció következtében kialakuló alkalózist a szervezet fokozott kiválasztással (vizelet) kompenzálja, ami a vér bikarbonát koncentrációjának csökkenéséhez vezet. Ez gyengítheti a vér pufferkapacitását, és hozzájárulhat a sav-bázis egyensúlyzavar (pl. kompenzált acidózis) kialakulásához, különösen a nyári meleg időszakban, amikor az alacsony szárazanyagfelvételt koncentráltabb takarmányozással próbálják kompenzálni (*West*, 2003). Hőstressz esetén a takarmányfelvétel és a kérődzés intenzitása, valamint a nyáltermelés is csökken, ami kisebb pufferoló hatást fejt ki a bendőben. Az állatok ritkábban esznek, de akkor nagyobb mennyiséget, és ha tehetik, a könnyebben lebomló szénhidrátot tartalmazó összetevőket válogatják ki. A csökkent, illetve kiegyensúlyozatlan takarmányfelvétel viszont kedvezőtlenül befolyásolja a bendőben zajló fermentációt: csökken az illózsírsavak koncentrációja és nő a tejsav-koncentráció, ami bendőacidózishoz vezethet (*Collier & Collier*, 2008). Amikor az állatot hőstressz éri, az első reakció a szárazanyag felvétel csökkenése, mely csökkenti a tejtermeléshez szükséges elérhető tápanyagok mennyiségét (*West*, 2003; *Rhoads et al.*, 2009). *Kadzere et al.* (2002) szerint laktáló teheneknél a takarmány felvétel 25 - 26 °C fok küszöbértéknél kezd hanyatlani. A kisebb energiabevitel, illetve a hőszabályozás megnövekedett energiaszükséglete negatív energiamérleget eredményez (*Bajagai*, 2011). A hőstressznek kitett teheneknél a kiegyensúlyozatlan takarmányfelvétel miatt éhségérzet és energiadeficit jelentkezhet (*Roche et al.*, 2009). Bár a tejelő szarvasmarhák hőstresszes időszakban mérsékeltén negatív energiamérleget produkálnak, *Rhoads et al.* (2009) és *Shwartz et al.* (2009) eredményei azt mutatják, hogy ennek ellenére nem mozgósítják a zsírtartalékaikat. Másik nagyon fontos tényező az elérhető jó minőségű, friss ivóvíz, hiszen a vízfelvétel a tejelő szarvasmarha komfortzónáját meghaladó környezeti hőmérséklet felett 1,2 kg/ °C-al növekedhet, azaz a napi vízigény akár 1,2-2-szeres is lehet (*West*, 2003). Néhány emlősállat, testsúlyának 30-40%-os vízvesztését is túléli,

ezzel szemben a tejelő tehén testsúlyának 12%-os vízvesztése esetén már súlyos kiszáradás jeleit tapasztalhatjuk (Roussel, 1999). A borjak fokozott veszélynek vannak kitéve, hiszen nagyobb testtömeg testfelület arányuk és fejletlen hőszabályozó rendszerük mellett a fokozott légzéssel gyorsan kiszáradhatnak. A környezeti hőmérséklet 0-ról 35 °C-ra történő növekedésével közel négyszeresére emelkedik a vízfogyasztás igényük, 1,4 literről kb. napi 4 literre, a tejpótló mellett (Quigley, 2001). Wiedmeier et al. (2005) megfigyeléseik során azt tapasztalták, ha gyakrabban cserélték és töltötték fel friss vízzel a borjak előtt lévő vödröket azaz folyamatosan rendelkezésre állt friss ivóvíz, az ösztönzően hatott a takarmányfelvételre is, ezáltal magasabb napi súlygyarapodást érnek el a választás előtti időszakban. Pinto et al. (2020) a nagy termelésű tehenek esetében a légzésszáma (respiratory rate, RR), szívritmusra (heart rate, HR) és rektális hőmérsékletre (rectal temperature, RT) vonatkozó küszöbértéket 65 THI felett határozta meg és hőmérséklet csökkentésre irányuló intézkedéseket javasol. A hőstresszt a környezeti tényezők (hőmérséklet, relatív páratartalom, napsugárzás, légmozgás és csapadék) kombinációja okozza. A kérődző fajok esetében gyakran hőmérséklet-páratartalom indexet (temperature humidity index, THI), vagy a glóbusz hőmérővel mért sugárzásos hőterhelést is figyelembe vevő hőindexet használnak az adott környezeti hőterhelés mértékének felmérésére (Wiersma és Armstrong, 1989). Az utóbbi esetben szorosabb összefüggést találtak a rektális hőmérséklet emelkedése, valamint a tejhozam csökkenése esetén, mint amit a THI-nél tapasztalni lehetett (Ji et al., 2017), ennek ellenére a THI alkalmazása terjedt el inkább. A THI különböző kategóriákra osztható, melyek jelzik a hőstressz mértékét, azonban a definíciót és a körülményeket egyes szerzők eltérően határozzák meg. Armstrong (1994) 71 THI alatt határozta meg a termikus komfortzónát, míg a 72-79 THI közötti értéket enyhe, a 80-90 THI közöttit mérsékelt és a 90 THI fölötti értéket súlyos hőstressznek nevezte. De Rensis et al. (2015) szerint a 68 THI alatti érték a tehenek termikus veszélyzónáján kívül esik, a hőstressz enyhe jelei figyelhetők meg 68 és 74 THI között, és a 75 THI érték fölötti hőstressz drasztikus csökkenést okoz a termelésben. Más kutatók eredményei alapján ezzel ellentétben már 60 és 65 közötti THI értékek esetén csökkent a tejtermelés és a tejösszetétel mérsékelt és kontinentális éghajlaton (Brügemann et al., 2011; Hammami et al., 2013), valamint 52-es THI érték fölött a kérődzési idő csökkenését tapasztalták (Müschner-Siemens et al., 2020). Berman (2005) kutatási eredménye alapján a tejtermelés 35kg/nap-ról 45kg/nap-ra történő emelkedésével a hőstressz küszöbértéke 5 °C fokkal csökken. Zimbleman et al. (2009) szerint a hőstressz nagy termelésű tehenek (>35 kg tej/nap) esetében már 68 THI küszöbértéknél megfigyelhető, hiszen ezek az állatok kevésbé tűrik az optimálisnál magasabb hőmérsékletet. A szakirodalomban leírt THI képleteknél nem csak a számítás módja lehet különböző, hanem ugyanazon képlet használata esetén eltérhetnek a küszöbértékek is, melyek felett már hőstresszről beszélünk. Az eltérő számítási módok és küszöbértékek közül nehéz

kiválasztani, melyik a legmegbízhatóbban alkalmazható az adott éghajlati körülmények között (Reiczigel *et al.*, 2009). A különböző klimatikus körülmények között eltérő hőstressz elleni védekezési technikát kell alkalmazni. Ahol a magas levegő hőmérséklet magas páratartalommal párosul, ott a párologtatásos hőleadás jelentősen gátolt, így ilyen helyeken nem a párologtatásos hőleadáson alapuló módszereket érdemes bevezetni (Bohmanova *et al.*, 2007). Amikor a környezeti hőmérséklet eléri a 33 °C -ot - amely közel azonos a tehén testfelületének hőmérsékletével – az evaporációs hőleadás aránya tovább nő, és elérheti akár a 80-90%-ot. Ez jelentősen növeli a hőstressz kialakulásának kockázatát, hiszen az istállóban a megnövekedett páratartalom gátolja a tehenek hőleadását (Takács, 2003).

2.1.1. A hőstressz hatása az egyes élettani paraméterekre

A hőstressz a hőtermelés és a hőleadás egyensúlyának olyan irányú eltolódása, amikor az állatot ért hőterhelés nagyobb, mint amennyi hőt leadni képes (Wagner, 2001; Chatterjee *et al.*, 2012). Azt, hogy milyen mértékben és formában jelentkezik a hőstressz káros következménye, nagymértékben befolyásolja az egyed komfortzónája és az adott tartástechnológia színvonala (Bernabucci *et al.*, 2010). A testhőmérséklet emelkedése olyan sejten belüli és szervezeti szintű változásokat idéz elő, melyek rövid és hosszú távon is csökkentik a hőtermeléssel járó anyagcsere- és termelési folyamatok intenzitását. Az alkalmazkodásra fordított és a termelési folyamatoktól elvont energia, az állomány egészségügyi és termelési mutatóinak visszaesésében mutatkozik meg (Bakony *et al.*, 2019). A hőstressz okozta sejtkárosodás kiküszöbölésére ún. hősokkfehérjék (heat shock protein, HSP) termelődnek, melyek jelentős feladatokat töltenek be a homeosztázis fenntartásában, a szervezet- és sejtszintű stresszfolyamatokban. A dajkafehérjék feladata más fehérjék kedvező szerkezetének kialakítása, védelem a káros aggregáció és denaturáció ellen. A HSP70 sejten belüli akkumulációja számos stresszorként ható inger hatására létrejöhethet, mint pl. túl magas hőmérséklet, oxigénhiány, szabadgyökök jelenléte, energiahány és acidózis következtében. Az emlős sejtek citoplazmájában kimutatható HSP40 komplexet alkot a HSP70-nel és közösen segítik, hogy a denaturált fehérjék a hősokk után visszanyerjék működőképes állapotukat, vagy lebontásra kerüljenek, ha a károsodás már nem helyrehozható (Pál *et al.*, 2012; Archana *et al.* 2017). A teljes test felmelegedéséből adódó morbiditás és mortalitás néhány létfontosságú célszövet funkciójának károsodásából adódik. Ezek a szövetek egyszerre hőérzékenyek és létfontosságúak az állat számára (Hall *et al.*, 2000). Flanagan *et al.* (1995) szerint a bél és a máj elsőként reagálnak a HSP70 fehérjék akkumulációjával a teljes szervezetet ért hipertermiára. A hőstresszhez való rövidtávú alkalmazkodásra a szimpatikus idegrendszer fokozott aktivitása jellemző. A test különböző pontjain lévő hőreceptorok a hipotalamuszba

közvetítik az információt, ezáltal a hőleadás fokozása és a hőtermelés csökkentése érdekében viselkedésbeli és élettani változások következnek be. A hipotalamuszban termelődő, a mellékvese aktivitását fokozó adrenocorticotrop hormon (ACTH) heveny stresszválaszt vált ki, nő az adrenalin és a kortizol szint a vérben (*Moberg, 2000*). Ennek hatására a szervezeten belül olyan változások mennek végbe, melyek lehetővé teszik a hirtelen jelentkező, nem várt, kellemetlen hatások elhárítását: energiatartalékok mozgósítása (emelkedő vércukor és szabad zsírsavszint a vérben), a szívműködés és légzés fokozódik, javul az oxigénellátás stb. Azonban ez a fajta reakció tartósan nem maradhat fenn, mert a szervezet nagyon gyorsan kimerülne. A tartós ideig ható vagy ismétlődően jelentkező stresszorokkal szemben a szervezet a Selye-féle általános adaptációs szindrómával (general adaptation syndrome, GAS) reagál, melynek hátterében a hipotalamusz-hipofízis-mellékvesekéreg tengely aktiválódása áll. Ennek három fázisát különítjük el: 1) az előbb már említett alarm-reakció (sokk), amelyet az adrenokortikotrop-hormon (ACTH) és következményesen a kortizolszekréció fokozódása jellemez; 2) az ellenállási szakasz, melyben tartósan magas ACTH és kortizolszint jellemző; 3) a kortizol ellenálló képességet gyengítő hatása miatt (másodlagos megbetegedések, fertőzések kialakulását segíti) fellép az ún. kimerülési szakasz, mely a hipofízis, a mellékvesekéreg, a nyirok- és vérképzőrendszer regressziója, az energiatartalékok kimerülése miatt az állat elhullásához vezethet (*Húsvéth, 2000*). A tejtermelő teheneket érő olyan élettani és/vagy környezeti hatások, amelyek stresszt idéznek elő az állatban közvetve vagy közvetlenül, oxidatív stressz (OS) kialakulását idézhetik elő, ami veszélyeztetheti az állatok egészségét és ronthatja a termelékenységét (*Hejel et al., 2019*). Ilyen esetben a szervezetben a reaktív oxigénformák mennyisége olyan mértékben megemelkedik, hogy a védekező mechanizmusok már nem bizonyulnak elegendőnek a reaktív oxigénformák kiküszöbölésére. A reaktív oxigénformák károsíthatják a létfontosságú makromolekulákat: a lipideket, a fehérjéket és a nukleinsavakat (*Renaudeau et al., 2012*).

2.1.2. A hőstressz hatása a viselkedésre

A tejelő szarvasmarhák optimális körülmények között 3-5 órát töltenek takarmányfelvétellel, 7-10 órát kérődzéssel, 30 percet vízfelvétellel, 2-3 órát a fejési folyamattal, és körülbelül 10 óra pihenő időt igényelnek (*Grant és Albright, 2001*). Hőstressz hatására a viselkedési hőszabályozás jelei figyelhetők meg elsőként: növekszik a vízfelvétel, a táplálkozás ideje áthelyeződik a hűvösebb időszakokra a nap folyamán, az állatok több időt töltenek állva, kevesebbet mozognak, keresik az árnyéket és a hűvösebb környezetet, valamint csökken a takarmányfelvétellel és kérődzéssel töltött idő (*De Rensis és Scaramuzzi, 2003; Schütz et al., 2008; West, 2003*). A termikus komfort felső határán túl, azaz 27-28 °C-ot meghaladó hőmérséklet következtében csökken a kérődzési folyamat

gyakorisága és időtartama egyaránt (Acatincai et al., 2009), így megfelelő paraméter lehet a klímaváltozás hatásának értékelésére tejelő teheneknél (Müschner-Siemens et al., 2020). A betegségtől és stressztől mentes tejelő teheneknél az átlagos kérődzési időt elsőborjas teheneknél 463 perc/nap, többször ellett teheneknél 522 perc/napban határozták meg (Soriani et al., 2012). A kérődzési viselkedést befolyásoló tényezők négy nagy csoportba sorolhatók: lehetnek takarmányozással (Kononoff and Heinrichs, 2003), állattal (Richter, 2010), betegséggel (Pedersen, 2010) és környezettel (Schirmann et al., 2011) összefüggő tényezők. Polsky és Keyserlingk (2017) arról számolt be, hogy hőstressznek kitett állatok takarmányfelvétellel töltött idejének csökkenése mellett az evési epizódok a hűvösebb napszakok irányába tolódtak, azaz a tehenek az esti órákban igyekeznek kompenzálni takarmány szükségletüket. Ramón-Moraques et al. (2021) megerősítették, hogy magas THI (≥ 72) mellett az állatok kevesebb időt töltenek takarmányfelvétellel és kérődzéssel. A kérődzés jelentős csökkenése főként a nappali órákban, de éjszaka is megfigyelhető (Soriani et al., 2013). A kérődzési idő és a THI között negatív a korreláció (Moretti et al., 2017; Soriani et al., 2013), hőstresszes időszakban csökkenés tapasztalható a kérődzési időben az éjszakai órákban is ugyanakkor hősemleges időszakban ekkor figyelhető meg a legmagasabb kérődzési csúcs (Schirmann et al., 2012). A kérődzés monitorozása korábban megfigyelés alapján történt egyedenként (Schirmann et al., 2009), de rendkívül munka- és időigényes volt és kevés állat pontos megfigyelésére volt lehetőség ezzel a módszerrel (Kononoff et al., 2002; Carraway et al., 2013). A kérődzés 63,4%-a fekvé történik és csak 36,5% álló pozícióban, ugyanakkor a nyári hőség idején az állva kérődzés irányába tolódik, ami akár 56%-ra is növekedhet (Acatincai et al., 2010). A pihenési viselkedés egy kiváló állatjólléti mutató, a szarvasmarhák esetében ugyanis jelentős változás tapasztalható, ha az állatok nem érzik jól magukat vagy valamilyen stressztől szenvednek (Fregonesi & Leaver, 2001). A tehenek fekvési idejének fiziológiás normálértéke kötetlen istállóban 9-14 óra (Provolo & Riva, 2009; Tullo et al., 2019). Hőstresszes időszakban ez akár 30%-kal is csökkenhet, a környezeti hőmérséklet emelkedésének függvényében, így nem meglepő, ha a hőstresszt a sántaság egyik fő kockázati tényezőjének tekintik (Cook et al., 2007). Az állással az állatok igyekeznek növelni testfelületüket a hatékonyabb hőleadás érdekében (Cook et al., 2007; Allen et al., 2015), azonban a csökkent pihenéssel töltött idő több szempontból is negatív hatást eredményez, például gátolja a tőgy vérkeringését (Rulquin & Caudal, 1992) és csökkenti a tejtermelést (Igono et al., 1992, Tao et al., 2018). A hőstressz hatással van a fekvési viselkedés alakulására tejhasznú borjaknál is, ugyanis változás tapasztalható a lefekvések gyakoriságában és a fekvéssel töltött idő hosszában (Kovács et al., 2018). A viselkedésminták a hőstressz függvényében változnak a nap folyamán, ami precíziós állattenyésztési szenzorok (precision livestock farming, PLF) segítségével jól kimutatható (Ramón-Moraques et al., 2021). Habár a borjak jobban tolerálják a hőséget a termelő teheneknél,

a fizioiógiás váiaszreakciók és a csöökent takarmányfelvétel náluk is megfigyelhető, ahogy emelkedik a környezeti hőmérséklet és relatív páratartalom. Nő a rektális hőmérséklet, a bőrfelszín hőmérséklet és a légzésszám, különösen, ha a borjúketrecek árnyék nélküli területen vannak elhelyezve (Roland *et al.*, 2016). Dado-Senn *et al.* (2020) javaslata alapján a fiatal állatok esetében is 65 THI felett érdemes árnyéket biztosítani, míg 69 THI-től ventilációs hűtést alkalmazni a hőstressz csökkentése érdekében. A borjakra vonatkozó termoneutrális komfortzónát 25 és 32 C között (Stull & Reynolds, 2008), a fizioiógiás testhőmérsékletet 38,1 és 39,2 között (Piccione *et al.*, 2003) határozták meg. A klimatikus változások és a hosszútávú negatív hatások elkerülése érdekében a hűtésrendszerek alkalmazása a fiatalabb korcsoportoknál is szükségessé válik.

2.1.3. A hőstressz hatása a termelési mutatókra

A tejtermelés csökkenéséhez vezető legfőbb változások a csöökent takarmányfelvétel miatt kialakuló energiahány, a bendőemésztés zavara, és a következményes anyagcserezavarok, amelyeket respiratorikus alkalózis és oxidatív stressz is súlyosbíthat. Továbbá feltételezhetően endotoxinhatás miatt emelkedik az inzulinkoncentráció, melynek következtében megváltozik a szénhidrát- és zsíryanagcsere (Bakony *et al.*, 2019). Mivel a véráramlás hűtési célból a perifériás szövetek felé tolódik el, ez befolyásolhatja az anyagcserét, mely hozzájárulhat a tejtermelés, valamint a tejfehérje tartalom csökkenéséhez (Bernabucci *et al.*, 2002). A hőstressz hatására bekövetkező tejtermelés csökkenés a korai laktációban 14%, a laktáció középső szakaszában 35% is lehet (Bernabucci *et al.*, 2010). Rhoads *et al.*, (2009) kutatásai azt mutatják, hogy a hőstressz következtében fellépő tejtermelés csökkenés körülbelül 50%-kal nagyobb, mint ami csak a hőstressz következtében fellépő takarmányfelvétel csökkenés miatt várható, vagyis a hőstressznek közvetlen termelés csöökentő hatása is van. A hőség közvetlenül is befolyásolhatja a tejmirigy működését, ugyanis a megnövekedett kortizol szint hatására aktiválódik egy tejtermelést szabályzó negatív visszacsatolási folyamat, melynek eredményeként a K⁺-csatornák működésének gátlásával a tejelválasztás csökken, azonban az esti órákban a hőmérséklet csökkenésével a tejtermelés ismét növekszik (Silanikove *et al.*, 2009). Szintén tejvisszatartást eredményezhet a stressz állapot következtében fellépő kortizol koncentráció növekedés a vérben, ami gátolja az oxitocin felszabadulást (Chatterjee *et al.*, 2012). Collier *et al.* (1981) és Spiers *et al.* (2004) vizsgálata alapján 24-48 órás késés van az emelkedett környezeti hőmérséklet és a tejtermelés csökkenés között. West (2003) kutatása alapján a tejtermelés-változás előrejelzésére a 48 órával korábbi THI napi átlagértékek használhatók fel leginkább, ugyanis vizsgálataikban a termoneutrális zóna tartományon felül a levegő hőmérsékletének minden 1 °C -kal való emelkedése a napi szárazanyag felvétel 0,85 kilogrammal való csökkenését okozta. Ugyanazon hőmérsékleten, de eltérő

páratartalom mellett még szignifikánsabb a különbség: 29 °C és 40%-os relatív páratartalom mellett egy holstein-fríz az ideális termelési szint 97%-át, míg 90%-os páratartalom mellett már csak 69%-át képes produkálni. A késleltetett hatás magyarázata lehet a megváltozott takarmányfelvétel és takarmányhasznosítás, aminek hátterében a tehén megváltozott endokrin állapota állhat. *Hu et al.*, (2016) megállapították, hogy a hőstressz vizsgálatakor a tej beltartalmi változása hasznosabb mutató lehet, mint önmagában a tejmenyiség csökkenése. A szomatikus sejtszám gyakran szezonális mintázatot követ, jellemzően nyáron magasabb értékeket mérhetünk a tejben, ugyanis hőstresszes időszakban gyakrabban fordul elő tőgygyulladás. A meleg környezet kedvező a tőgygyulladást okozó kórokozónak, valamint negatív hatással van az állatok immunválaszára (*Gaughan et al.*, 2009). Több szerző arról számolt be, hogy a napi átlagos THI érték növekedésével a tejhozam csökkent, a szomatikus sejtszám pedig növekedett (*Tao et al.*, 2018; *Norman et al.*, 2019). Az ilyenkor jelentkező immunszuppresszió következtében az állatok fogékonyabbak lehetnek a betegségekre (*Das et al.*, 2016; *Pragna et al.*, 2017). A hőstressz következtében felborul a hormonháztartás egyensúlya, aminek eredményeképpen a prolaktin szintje jelentősen növekszik a vérben. A szárazonállási időszakban a prolaktin szintben bekövetkező változások negatívan befolyásolhatják a következő laktáció tejtermelését (*Pragna et al.*, 2017).

2.1.4. A hőstressz hatása a szaporodásbiológiai teljesítményre

A hőstressz két fő mechanizmus révén befolyásolhatja a szaporodási folyamatokat. Egyrészt a testhőmérséklet szabályozására irányuló élettani változások veszélyeztethetik a reprodukív funkciókat. Ilyen például a véráramlás eloszlása a testmag felől a perifériára, a hőleadás fokozása érdekében. Másik mechanizmus a csökkent takarmányfelvétel, ami csökkenti a metabolikus hőtermelést, ugyanakkor ez az energiaegyensúlyban és a tápanyag elérhetőségében is változást okoz, ami jelentős hatással lehet a nemi ciklusra, a vemhesülésre és a magzat fejlődésére (*Hansen*, 2009). A csökkent fejlődésű kis- és közepes méretű tüszők száma megnövekedik, melynek oka az alacsonyabb inhibin koncentráció és a megnövekedett FSH elválasztás a preovulációs időszakokban (*De Rensis és Scaramuzzi*, 2003). Emellett az LH (*Hansen*, 2009), valamint az ösztadiol 17 β kiválasztás is csökken (*Roth et al.*, 2000). A hormonok visszafogott termelődése mellett a petefészkek gonadotrop hormonok iránt való érzékenysége is mérséklődik (*Ahmed et al.*, 2015), a petesejt sérülékenyebbé válik, ezáltal kevésbé lesz alkalmas a megtermékenyülésre (*Kovács és Kovács*, 2012). Az emelkedett környezeti hőmérséklet negatív hatást gyakorol a tehenek természetes ivarzási viselkedésére, azaz csökken az ivarzás kifejeződésének hossza és intenzitása (*Orihuela*, 2000), ami a csökkent szárazanyagfelvétel és az azt követő hormonális

hatások együttes eredménye (Westwood *et al.*, 2002). A még nem termelő üszőknél és az alacsony tejtermelésű teheneknél kevésbé figyelhető meg a fertilitás csökkenése, szemben a magas tejtermelésű egyedekkel, amelyek a magasabb metabolikus hőtermelés miatt kevésbé tudják szabályozni testhőmérsékletüket (Sartori *et al.*, 2002). Azoknál a teheneknél, amelyeknél a termékenyítéskor mért rektális hőmérséklet 39,1 °C -nál magasabb volt, a 60 napos vemhesülési arány 21%-ról 15%-ra csökkent (Pereira *et al.*, 2013). Az ivarzásmegfigyelés problémájára fejlesztették ki a programozott mesterséges termékenyítést, azonban ezek a programok sem nyújtanak kellő biztonságot a vemhesülésre. Hőterhelt időszakokban a GnRH aktívabb analógjainak alkalmazásával csökkenthető az ovulációs problémák előfordulása (García-Isperto *et al.*, 2019). A hőstressz termékenyülésre gyakorolt hatása nemcsak a nyári gyengébb vemhesülési eredményekben mutatkozik meg, de a kora őszi hónapokra is kihathat. Ez annak az elhúzódó hatásnak az eredménye, amit a nyári meleg okozott azokban a tüszőkben, melyek 49-50 nap múlva válnak domináns tüszővé (Novotniné *et al.*, 2017), ugyanis a tüsző érése kb. 120 napig tart, ez idő alatt – legalább az ovulációt megelőző 105 napban – a hőstressz károsíthatja a petesejtet (Hansen, 2013). Egy izraeli kutatás során a vemhesülési arány az átlagos téli 39%-ról 3-12%-ra esett vissza a nyári időszakban, és még az állatok intenzív hűtése mellett is csak 19-25% körül alakult. Észak-Floridában egy szabad tartású, árnyékolt, vízpermettel felszerelt istállóban lévő csoport esetében a hűvös hónapokban elért 38-46% vemhesülés a nyári meleg hónapokban csupán 11-26% volt. A vemhesülés elmaradásának fő oka a hőstressz káros hatásaként bekövetkező petesejt károsodás és korai embrió elhalás (Hansen, 2019). De Rensis és Scaramuzzi (2003) kutatási eredményei szerint a vemhesülési arány 20-30%-kal csökkenhet a nyári időszakban, ugyanis a hőstressznek kitett tehenek méhének vérrellátottsága romlik és hőmérséklete emelkedik, ami kedvezőtlen az embrió megtapadása és fejlődése szempontjából (West *et al.*, 2003). A vemhesség 34-45. napja között és a vemhesség 90. napjáig a vetélések aránya 2% volt a hűvös évszakban, míg a meleg időszakban 12% körül alakult (García-Isperto *et al.*, 2006). Pragna *et al.* (2017) azt tapasztalták, hogy ha a vemhesség első 6 napja alatt a testhőmérséklet 39 °C fölé emelkedik, akkor nő az embrióelhalás esélye. A megtermékenyülést követően az embrió 1-4 sejtjes állapotban van, tehát a genom, amely megvédené a hőstressz negatív hatásaitól, még nem aktiválódott. A termékenyülést követő 3-4. napon, az embrió 8-16 sejtjes állapotában már aktiválódik a gén, így 3, 5 vagy 7 nap múltán kevésbé van hatással a hőstressz az embrió túlélésére (Graf *et al.*, 2014). A vemhesség előrehaladtával az embrió magas hőmérséklettel szembeni ellenállóképessége jelentősen javul. Pragna *et al.*, (2017) eredményei is alátámasztják, hogy ha a hőstressz a termékenyülést követő 7. napon túl jelentkezik, kevésbé van káros hatással, mint a vemhesség korábbi szakaszában vagy az ovuláció előtti időszakban. Erre a problémára lehet megoldás az embrió transzfer (ET), mellyel az embrió az ivarzást követő 7-8. napon kerül

beültetésre. Az embrió erre az időpontra megszerezheti az ellenálló képességet, hogy túléljen és képes legyen fejlődni a hőstresszel terhelt anyaméhben (*Edwards és Hansen, 1997*). Embrió transzferrel kétszer jobb vemhesülési arányt lehet elérni hőterhelt időszakban a hagyományos mesterséges termékenyítéshez képest (*Hansen, 2019*). A hőstressz reprodukcióra gyakorolt negatív hatását genetikai szelekcióval is lehet csökkenteni, ugyanis holstein-fríz fajtában a hőstressz alatti testhőmérséklet öröklődhetőségi értéke (hereditabilitás, h^2) 0,17 (*Dikmen et al., 2012*), míg a hőstressz alatti tejhozamcsökkenés h^2 értéke 0,19 (*Nguyen et al., 2016*). A genetikailag hőtoleránsabb tehenek nagyobb fertilitási tenyésztéssel rendelkeznek, ugyanakkor a tejhozamra való genetikai képességük alacsonyabb, ezért olyan tenyésztési stratégiákat kell kidolgozni, amelyek lehetővé teszik a kiváló hőtoleranciát biztosító gének kiválasztását a tejhozam veszélyeztetése nélkül. *Hansen (2019)* kísérletei alapján, a hőstressz időszakban történő vemhesülés következtében hosszú távú negatív hatások érhetik az anyát és a borjút a fejlődése során. *Pinedo és DeVries (2017)* szerint a nyári időszakban fogant üszők idősebb korukban ellenek először, kevesebb eséllyel élik meg a második ellésüket, ellést követően kitolódik az első termékenyítés és vemhesülés ideje, valamint kisebb tejhozamot produkálnak a télen fogant társaikhoz képest. *Allen et al. (2015)* kiemelte, hogy a tejtermelés és a szaporodásbiológiai eredmények a leggyakrabban vizsgált mutatók, melyek állomány szinten könnyen mérhetők és közvetlen kapcsolatban állnak az ágazat jövedelmezőségével.

2.2. A hőstressz csökkentésére irányuló tartás- és takarmányozástechnológiai megoldások

2.2.1. Árnyékolás

Az állatok árnyékolása elengedhetetlen eleme a hőstressz elleni védekezésnek a nyári időszakokban, mellyel védelem nyújtható a közvetlen napsugárzás és annak kedvezőtlen hatásai ellen. Hazánkban a tejelő állomány döntő többsége istállózott tartástechnológiában termel, azonban a szárazonálló csoport esetenként egy külső karámban kap helyet, ahol gondoskodnunk kell a fedett rész kialakításáról. Az egyedi ketrecben tartott borjakat legtöbbször árnyékolás nélkül tartják. Habár a borjúházakba behúzódhatnak a közvetlen napsugárzás elől az állatok, vannak olyan időszakok amikor annyira felmelegszik a borjúház, hogy inkább a karámrészben pihennek a tűző napon, ahol jobban mozog a levegő. A borjak hőstressz elleni védelmére nagyobb hangsúlyt kellene fektetni, amelyre számos egyszerű és olcsó megoldás létezik. Az árnyékot adó fizikai szerkezet lehet például fa, tető vagy függöny, melyek alkalmazásával csökkenthető a sugárzó hőterhelés. Mivel csökken a napsugárzásnak való kitettség és csökken a környezeti hőmérséklet, kedvezőbb mikroklimát teremthetünk a tehenek számára (*Polsky és Keyserlingk, 2017*). A

környezeti feltételektől függően eltérően preferálják az állatok az árnyékoló szerkezet típusát (Schütz *et al.*, 2009), amelyet figyelembe kell venni az adott rendszer megtervezésekor. Az istálló tájolása (földrajzi elhelyezkedéstől függően) segíthet a hőstressz mérséklésben azáltal, hogy csökken az inszoláció (besugárzás) és az istálló felületi hőmérséklete, ami növeli az állat testéből a környezet felé történő hőátadást (Angrecka és Herbut, 2016). A tehenek szívesen keresik az árnyékos helyeket és ez a viselkedési reakció meleg időjárási körülmények között fokozódik (Tucker *et al.*, 2008; Schütz *et al.*, 2009) amelyből hierarchikus verseny is létrejöhet (Schütz *et al.*, 2010). Nyitott etetőter esetében indokolt az árnyékolás a teljes etetőúton, ugyanis növeli a szárazanyagfelvételt és lassítja a takarmány minőségében történő kedvezőtlen változásokat, amely folyamatok hő hatására gyorsabban beindulnak. Az árnyékoló lehet állandó épületi elem, de az időszakosan kifeszített rasel háló is megfelelő, hiszen 80-85%-os árnyékolást biztosít, kevésbé költséges és nem gátolja a légmozgást (Armstrong, 1994). A helyesen kialakított árnyékolás hatására kevésbé csökken a tehenek szárazanyag-felvétele és termelése (Berman *et al.*, 1985), valamint élettani paramétereik is kedvezőbben alakulnak, kevésbé emelkedik meg a tehenek testhőmérséklete (Schütz *et al.*, 2010) és szívritmusa (Vizzotto *et al.*, 2015) hőstresszes időszakban, mint az árnyékolás nélküli társaiké.

2.2.2. Tehén-és istállóhűtés

A rosszul kialakított környezeti feltételek 20-50%-kal is csökkenthetik a termelési eredményeket (Bak és Pazsiczki, 2004), éppen ezért nagy jelentősége van minden olyan hőleadást segítő technikai beavatkozásnak, amely – az istálló környezetében várható időjárási viszonyokhoz igazodva – a termelőistállóban, a pihenőtéren vagy az elővárakozóban a tehenek komfortzónájához leginkább közelálló mikroklímát biztosítja (Kovács és Kovács, 2012). Az istálló tájolása kulcsfontosságú, hiszen egy jól tájolt természetes szellőzésű istálló hossz tengelye, az uralkodó szélirányra merőleges (Bak és Pazsiczki, 2004). Az észak-dél fekvésű istállók nagyobb mértékű közvetlen napsugárzásnak vannak kitéve, mint a kelet-nyugati tájolásúak, ugyanis a napfény az épületekbe a reggeli és délutáni órákban is egyaránt képes behatolni (Smith *et al.*, 2012). Bár az állatok komfortérzetét leginkább a délutáni hőség rontja, meleg nyári napokon a reggeli napsütés is okozhat változásokat az állatok viselkedésében, ami elsősorban a tehenek csökkent istállóterület-használatában nyilvánul meg, keresik az árnyékosabb helyeket és elkerülik a közvetlen napfényt (Schütz *et al.*, 2010). A borjúházak megfelelő tájolása egy költség nélküli lehetőség a borjak jóllétének javítására. A déli irányba néző borjúházak vannak a legerősebb napsugárzásnak kitéve, miközben a legkevesebb árnyékot kapják a nap folyamán, ezért a nyári időszakban az északi vagy keleti irányba célszerű tájolni (Bakony *et al.*, 2019). A jól hőszigetelt

istállótető csökkenti a hő beáramlását az istállóba, így belső hőmérséklete alacsonyabb marad (Calegari et al., 2012). Az istállók megfelelő mikroklímájához elengedhetetlen a folyamatos légcsere, a legelterjedtebb a nagy belmagassággal és nyitott oldalfalakkal rendelkező nagy légtérű, könnyűszerkezetes istállók, melyeknek mindkét oldalfala nyitott, illetve függönnyel nyitható-zárható. A légmozgás akkor kielégítő, ha az elegendő beáramló levegőmennyiség az épületben felmelegedve a nyitott gerincen távozni tud és felszálló meleg és nedves levegő helyébe hideg levegő tud beáramlani oldalról, ezáltal cirkulációs hatást biztosítva (Bak et al., 2007). Különböző hűtési megoldások léteznek a tejtermelő tehenészetek számára. A ventilátorok megkönnyítik a levegő mozgását és fokozzák a hőáramlást, amit a környezeti hőmérséklet csökkentésére és a hőstressz enyhítésére alkalmaznak. Használatukkal csökken a légzésszám és a rektális hőmérséklet, valamint növekszik a szárazanyagfelvétel (Armstrong, 1994). Brouk et al. (1999) már a '90-es évek végén alátámasztották, hogy a magas szintű tejtermeléshez kiegészítő hűtő rendszerek szükségesek. Régebbi építésű istállóban és ahol a természetes szellőzés vagy árnyékolás nem eredményes, ott mindenképp gondoskodni kell a mesterséges szellőzésről. A légsebesség növelésével jelentősen nő a szervezet hőleadása, amit kísérletek is igazoltak, 30 °C-os környezeti hőmérséklet mellett, a tehenek 30 %-kal több tejet termeltek, amikor a 0,3 m/s-os légmozgást 2,5-3,5 m/s-ra növelték. Ez az eljárás akár 1 °C-kal is csökkentheti a testhőmérsékletet a ventiláció és párasítás nélküli állapothoz képest. Ennél magasabb légáram nem javasolt mert a huzat kedvezőtlen az állatok számára. Az elővárakozóban a nagy zsúfoltság miatt már alacsonyabb környezeti hőmérséklet mellett is kialakulhat hőstressz, hiszen 'zárt' térben jelentős mennyiségű hőt termelnek (Bak és Pazsiczki, 2004). A zsúfoltság következtében hirtelen megnő a páratartalom (Brouk et al., 2001), ezért a fejőházban és az elővárakozóban kiemelt fontosságú a ventilátorok használata. A régebbi típusú istállóban is a ventilátorok alkalmazása a legcélszerűbb, de modern termelőistállóban is a természetes szellőzés kiegészítésére ventilátorokat telepítenek, melyek a pihenőhelyeken és az etetőasztal mellett megteremtik a komfortot a kérődzéshez és a takarmányfelvételhez. A hatékony légmozgás eléréséhez azonban meghatározó a ventilátorok száma, elhelyezése, teljesítménye, mérete és dőlésszöge (Turner et al., 1992). Worley és Bernard (2006) összehasonlította a HVLS mennyezeti (nagy térfogatú, alacsony fordulatszámú) és LVHS (kis térfogatú, nagy sebességű) ventilátorok és vízpermet kombinációjának levegőáramlási mintázatát, légsebességét és a tehenek vaginális hőmérsékletét. A HVLS rendszerrel a légsebesség egyenletesebben oszlott el, de nem biztosította a kívánt légmozgást a kritikus zónákban (etetőtér, pihenőhely) és magasabb volt a testhőmérséklete az állatoknak. Leghatékonyabb megoldás a két típusú ventilátor együttes alkalmazása, biztosítva a maximális hatékonyság elérését. Smith et al., (2012) eredményei alapján az alagút szellőztetés hatékonyabbnak bizonyul, mint a nyitott oldalfalú istállók ventilátorokkal és permetezőkkal

különösen magas relatív páratartalom mellett. Az istállóban keresztül mozgatják a levegőt, a légbevezető nyílás az istálló egyik rövid végfalán helyezkedik, míg az összes elszívó ventilátor az ellenkező oldalon. Legáltalánosabb és leghatékonyabb megoldás az adiabatikus hűtés, melynek lényege, hogy szórófejekkel benedvesítik a tehén testfelületét, miközben ventilátorok segítik a víz elpárolgását, ami hőt von el és mérsékli a hőstressz kedvezőtlen állatjólléti hatásait (*Bak és Pazsiczki 2008; Renaudeau et al., 2012*). Ez a rendszer bizonyítottan csökkenti a rektális hőmérsékletet, javítja a szárazanyagfelvételt, a vemhesülési eredményeket és a borjak optimális születési testsúlyát (*West, 2003*). A vízpermetet olyan helyre célszerű telepíteni, ahol az állatok a legtöbb időt töltene vagy szeretnék, hogy töltsenek, ez elsősorban az etetőút környéke, hiszen a hűtés hatására a tehenek szívesebben és hosszabb időt töltene takarmányfelvétellel (*Chen et al., 2013*). A fejőházból kivezető úton a friss ivóvíz biztosítása a legtöbb telepen bevett gyakorlat, mellyel ösztönözni próbáljuk a teheneket, hogy a fejést követően az istállóban minél több takarmányt vegyenek fel. A legmelegebb napokon javasolt zuhany alkalmazása ugyanezen az útvonalon a hűtőhatás meghosszabbítása érdekében. A hőstressz enyhítésére szolgáló fejlesztések hatékonyságának értékeléséhez az állatok élettani mechanizmusának magasabb szintű megértése szükséges (*Allen et al., 2015*). Újabban egyedi ketrecben tartott borjak esetében is vizsgálják a ventilációs hűtés lehetőségét, és az eredmények alapján a pozitív nyomású cső ventilátorok alkalmazása kifejezetten kedvező hatással volt a borjak viselkedésére (*Guenther et al., 2025*).

2.2.3. Takarmányozási módszerek

A hőstressz negatív hatásait a tehén mikrokörnyezetének módosítása mellett takarmányozástechnológiai módszerek segítségével is csökkenthetjük (*Bak és Pazsiczki, 2004*), azonban a legtöbb tanulmány szerint viszonylag kis hatékonyságúak a környezet módosításán alapuló módszerekhez képest. Takarmány-adalékanyagok alkalmazásával az egyes élettani folyamatokat célzottan segíthetjük, illetve a kedvezőtlen hatásokat mérsékelhetjük. A takarmányozási stratégia változtatásának célja elsősorban az energiaellátottság javítása, továbbá az emésztési folyamatok során felszabaduló hő minimalizálása. Ezen megoldások egyrészt a szárazanyagra számított energiabevitel növelésére, másrészt az inzulinhatás és a glükóz hasznosulásának támogatására irányulhatnak. A fejadag nyersrosttartalmának csökkentésével, az abrakhányad növelésével és zsírkiegészítéssel egyaránt csökkenthető a rostbontással járó bendőbeli hőtermelés, illetve nő az energiabevitel mértéke is (*Bakony et al., 2019*). Azonban az egészséges bendőműködés és illózsírsavtermelés fenntartása érdekében a napi nyersrost felvétel aránya csak bizonyos mértékig csökkenthető [minimum 19% ADF (acid detergent fibre, savdetergens rost), és 27–33% NDF (neutral detergent fibre, neutrális detergens rost)], továbbá a zsírtartalom szintén csak szűk

korlátok között növelhető (maximum 3-5%) (NRC, 2001). A takarmányadagok megváltoztatása esetében szem előtt kell tartani azt is, hogy ezek a módosítások nem elsősorban a hőstressz mérséklését, hanem a káros hatások csökkentését, a homeosztázis fenntartását hivatottak szolgálni. A megelőzési eljárások célja, hogy csökkentsék, vagy meggátolják a szárazanyag-felvétel visszaesését és ezáltal a termelési mutatók romlását (Bakony *et al.*, 2019). Hatékony megoldás az etetési idők hajnali vagy esti órákra történő időzítése, amikor alacsonyabb a környezeti hőmérséklet (Schütz *et al.*, 2008; Toledo *et al.*, 2022). A jó minőségű, könnyen emészthető, ízletes rostforrások (pl. gabona és fűszilázsok) javítják az emészthetőséget és a takarmányfelvételt a nyári időszakban. A takarmányfelvétel- és hasznosulás fokozására, valamint a bendőfermentáció támogatására széles körben alkalmazzák a különböző élesztő kultúrákat (Min *et al.*, 2019). A fokozott lihegés és izzadás jelentős mennyiségű makroelem - különösen nátrium (Na^+) és kálium (K^+) – veszteséghez vezet (Samara *et al.*, 2019). Fokozódik a testfolyadék-veszteség, ami magasabb makroelem-szükségletet eredményez a kiszáradás megelőzése és a homeosztázis fenntartása érdekében (Das *et al.*, 2016), ezért hőstressz idején további Na^+ és K^+ kiegészítésre van szükség, hogy ellensúlyozzuk a csökkent takarmányfelvételtől és veszteségekből adódó hiányt (Sanchez *et al.*, 1994). A fitobiotikumokat, másnéven növényi kivonatok bioaktív vegyületeit, már régóta alkalmazzák a humán-és állatgyógyászatban egyaránt, különböző betegségek megelőzésére, stresszhez kapcsolódó szindrómák kezelésére, teljesítmény fokozására és fertőzésekkel szembeni ellenállóképesség növelésére (Rochfort *et al.*, 2008). Napjainkban ismét felértékelődik szerepük hiszen a globális problémának számító antimikrobiális rezisztencia következtében egyre szigorúbb feltételekkel alkalmazhatók az antibiotikum tartalmú készítmények, így előtérbe kerülnek a preventív jellegű intézkedések. A fitobiotikumok antimikrobiális hatásuk mellett erős antioxidáns és gyulladásgátló hatással rendelkeznek. Antioxidáns potenciáljukat tekintve a lista élén szerepel a szegfűszeg, rozmaring, fahéj és a kurkuma (Dragland *et al.*, 2003). Khiaosa-ard és Zebeli (2013) arról számolt be, hogy a fitobiotikumokat nagymértékben alkalmazzák a kérődzők takarmányozásába, mivel antimikrobiális hatásuk mérsékli a metán kibocsátást, javítja a bendőbeli fermentáció hatékonyságát, valamint antioxidáns és gyulladásgátló kiegészítőként is hatékonyak bizonyulnak (Jungbauer és Medjakovic, 2012; Oh *et al.*, 2017; Braun *et al.*, 2019), különösen, ha az állatok fiziológiás vagy környezeti stressznek vannak kitéve (Gobert *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2010).

2.3. A (hő)stressz vizsgálatának módszerei

2.3.1. Nem-invazív módszerek

A hőstressz értékelésének nem-invazív koncepciója arra irányul, hogy emberi beavatkozás vagy az állatot érő további stressz nélkül nyomonkövethető legyen (*Idris et al.*, 2021). Az egyik leggyakoribb állatalapú indikátor a hőterhelés mérésére a testhőmérséklet (*Galán et al.*, 2018), mely mérhető belső (végbél, hüvely, bendő vagy fülkagyló) és külső (testfelület) megközelítésből (*Hoffmann et al.*, 2020). Az állatállomány monitorozása nem-invazív, valós idejű szenzor alapú eszközökkel (rektális és hüvely szonda, bendőbólushoz, fülhőmérő, infravörös hőkamera, beültethető mikrochip) elősegíti a hőstressz és a betegségek korai előrejelzését emberi beavatkozás nélkül az állatjóllét legmagasabb szinten tartásával (*Burdick et al.*, 2012; *Lee et al.*, 2016; *Lees et al.*, 2018). A rektális hőmérséklet (RT) folyamatos mérésére számos adatgyűjtő szenzort kipróbáltak a kutatók kisebb nagyobb sikerrel (*Gaughan et al.*, 2000; *Spiers et al.*, 2004; *Reuter et al.*, 2010). *Debnath et al.* (2017) rádiófrekvencia alapú digitális hőmérővel érte el a valós idejű rektális hőmérséklet mérését tejelő tehenekben. *Lees et al.* (2018) olyan intrarektális eszközt fejlesztettek mely 23 órán keresztül folyamatosan képes mérni a rektális hőmérsékletet. *Burfeind et al.* (2010) szerint, a rektális hőmérséklet eredményét torzíthatja a hőmérő típusa, a végbél mélysége és maga a művelet. *Piccione et al.* (2003) a napi hőmérséklet cirkadián ritmusára hívta fel a figyelmet, mely befolyásolhatja a mérési eredményeket, ugyanis a két hónapnál idősebb szarvasmarhánál alkonyatkor 1,4 °C-kal magasabb a rektális hőmérséklet, mint hajnalban, emellett számos hőtermelő esemény növelheti a RT-t (pl. etetés, testmozgás, ivarzás, betegség).

A vaginális hőmérséklet (vaginal temperature, VT) mérésénél is több eszközzel kísérleteztek a kutatók (*Hillman et al.*, 2009; *Lee et al.*, 2015), majd a gyógyszermentes CIDR-be helyezett adatrögzítők bizonyultak legmegfelelőbbnek (*Vickers et al.*, 2010; *Burdick et al.*, 2012). Az eszköz azonban csak kutatási célra megfelelő, általában 1 hétig, de legfeljebb 24 napig alkalmazható a hüvelyben (*Tresoldi et al.*, 2020) az irritáció és fertőzés fokozott kockázata miatt (*Burdick et al.*, 2012). *Kaufman et al.* (2018) arról számolt be, hogy a VT szorosabb korrelációt mutatott a THI-vel, mint az RT, ezért jobb indikátora lehet a tejelő tehenek hőterhelésének meghatározására.

A bendő és a retikulum találkozásánál hőmérséklet és pH is mérhető, erre a célra kifejlesztett bólushozokkal amelyek, érzékelőkből, telemetriai rendszerből és akkumulátorból áll (*Koltes et al.*, 2018). Először *Hicks et al.*, (2001) mértek bendőhőmérsékletet azonban a kezdetleges eljárás fistulát igényelt és műtéti eljárást, ami veszélyeztette az állatok jóllétét. Napjainkban a bólushozokat szájon át, erre a célra kifejlesztett speciális eszközzel helyezik be (*Lees et al.*, 2018; *Jonsson et al.*, 2019). A vízfelvétel csökkenti a hőmérsékletet akár több órára (*Ammer et al.*, 2016), ezt a

statisztikai értékelésnél figyelembe kell venni, másrésről a vízfelvételek gyakoriságáról is információt kapunk az eszköz segítségével, aminek nagy szerepe van a hőterhelt időszakok előrejelzésében (*Cantor et al.*, 2018).

A fülhőmérséklet méréséhez *Jara et al.* (2016) adatgyűjtőt helyeztek tejelő tehenek fülkagylójába hőterhelt időszakban, azonban az állatok számára kényelmetlennek bizonyult. Közel kell elhelyezni a dobhártya közelében és az elmozdulás pontatlan leolvasást eredményezhet (*Koltes et al.*, 2018), ennek ellenére megtalálható a kereskedelmi forgalomban, hiszen az újabb modellek $\pm 0,1\%$ -os pontossággal rendelkeznek (*Mahendran et al.*, 2017). *Bar et al.* (2019) szerint a hipotalamusz anatómiai közelsége miatt a fülhőmérséklet érzékenyebb és 18 perccel korábban reagál a környezeti hőmérséklet (ambient temperature, AT) változására, mint az RT vagy a VT.

A szubkután hőmérséklet (subcutan temperature, ST) is informatív lehet hőstresszben szenvedő tehenek esetében, ugyanis ilyenkor a szervezet válaszreakciója, hogy több vért juttat a testmag felől a perifériás testrészekbe (*Chung et al.*, 2020). Az ilyen típusú mérésnél beültethető érzékelő és vezeték nélküli adatátvitel szükséges. Számos kutató vizsgálta a legmegfelelőbb pontot az állaton, mely alkalmasnak bizonyul (*Reid et al.*, 2012; *Lee et al.*, 2016; *Iwasaki et al.*, 2019), de még további vizsgálatokat igényel, hiszen nem pontosan ismerjük a beültetés egészségre gyakorolt hatását hosszú távon, hatással vannak-e az ételmiszerbiztonságra és újrahasznosíthatók-e a vágóhidakról (*Shu et al.*, 2021).

A testfelszín hőmérsékletének (BST) mérésére az infravörös hőkamera jelenthet megoldást, mely nem igényel közvetlen érintkezést az állattal és valós idejű mérést tesz lehetővé (*Peng et al.*, 2019). Azonban a testfelszíni hőmérséklet sokkal szorosabb összefüggést mutat a külső hőmérséklettel, mint a belső hőmérséklettel, így hőstressz megítélésére korlátozottan alkalmas (*Bakony et al.*, 2023). Legmagasabb korrelációt az RT-vel a szemén és a homlokon mérték, azonban a mérés pontosságát számos tényező befolyásolhatja pl. a felületen lévő szennyeződés, a bőrredő, a közvetlen napsugárzás, az állat távolsága és szöge (*Hoffmann et al.*, 2020), ezért további fejlesztések szükségesek a képfeldolgozásban.

A stresszre adott endokrin válasz vizsgálata stresszmarkerekkel, mint például a kortizol nem-invazív módon mérhető a haszonállatok bélsarából, vizeletéből, szőréből, nyálából és tejéből (*Hoffmann et al.*, 2021). A bélsárban található kortizol metabolitok viszonylag akut értékelést adnak a stresszről, 8-16 órás késleltetéssel (*Palme*, 2005), azonban a koncentrációt nagymértékben befolyásolhatja a kortizol felszabadulásának napi ritmusa (*Thun et al.*, 1985), az évszak (*Millspaugh et al.*, 2001) és az állatok szaporodásbiológiai állapota is (*Neuffer*, 2006). A vizelet kortizol metabolitja kötetlen formában választódik ki és koncentrációja elsősorban a tubuláris és glomeruláris funkciótól függ (*Isaac et al.*, 2017). Mivel a vizelet felhalmozódása több órán

keresztül történik, a hormonprofil gyors változásai nem változtatják meg a vizelet kortizolszintjét (Morrow *et al.*, 2000). A szőrben raktározott kortizol a krónikus stressz biomarkerje, mely hosszú távú mutató, hogy az adott állat mennyi stresszt élt át az elmúlt időszakban, ami hetek vagy hónapok is lehetnek a szőr hosszának és a növekedés mértékének függvényében (Heimbürge *et al.*, 2019). A nyálkortizol az egyik legpontosabb mutató a stressz nem-invazív úton történő vizsgálatában (Cook, 2012), amit manapság egyre többen alkalmaznak. Erős pozitív korrelációban áll a plazma kortizol koncentrációjával (Riek *et al.*, 2019). Mivel jelentős fizikai korlátozást igényel az állattal szemben a mintavételi eljárás így nem biztos, hogy teljesen nem-invazív módszernek tekinthető (Cook, 2012). A tej kortizol koncentrációja kisebb, mint a plazma kortizol koncentrációja (Ito *et al.*, 2017).

A kortizol 4 órán belül kerül át a vérből a tejbe (Fox *et al.*, 1981) ami késhet, ha a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese (HHM) tengely folyamatosan aktiválódik (Sgorlon *et al.*, 2015). Laktáló állatok esetében könnyen kivitelezhető a mintavétel, a tej kortizol metabolit koncentrációja erősen korrelál az egy időben levett vérmintákból mért plazma kortizollal (Morméde *et al.*, 2007). A kortizol mérést befolyásoló nehézségek könnyen áthidalhatóak a szívritmus-változékonyság (heart rate variability, HRV) mutatóinak vizsgálatával (von Borell *et al.*, 2007). Az R-R távolságokban tapasztalható gyors változások lehetővé teszik a különböző stresszorok pontos meghatározását, amely több szerző szerint pontosabb stresszindikátor, mint a HHM tengely hormonjainak koncentrációja (Stewart *et al.*, 2008; Mialon *et al.*, 2012). A szívritmus mérése szarvasmarhákban az orvostudományban régóta alkalmazott EKG, illetve artériás pulzusz mérésen alapszik. Az állatok testére rögzített műszerek a testfelszín két pontja közötti elektromos feszültségkülönbséget mérik, ami a szívizomsejtek elektromos működésének a mérés pillanatában fennálló összességéből adódik (Langer *et al.*, 2010). A mérés eszközei egy elektródát tartalmazó hám, amit a mellkas bal oldalán helyeznek fel, egy speciális jeladó és egy adatrögzítő készülék (Polar R-R Recorder) amely 24-48 órás vizsgálatokat tesz lehetővé.

A változó éghajlati hatások miatt a hőstressz adatok valós idejű mérése egyre fontosabb a precíziós állattenyésztésben (Shu *et al.*, 2021). Az állatok klímaváltozásra adott válaszainak megfigyelése és mérése jelentős szerepet játszik az állomány termelékenységének és jóllétének javításában (Sejian *et al.*, 2022). A hőstressznek való kitettség a kortizol termelődését és felszabadulását indukálja a mellékveséből a véráramba, ami nagy mennyiségű glükózt, azaz energiát biztosít a szervezet számára (Lees *et al.*, 2019). Azonban a krónikus stressz (pl. tartós hőség) esetén a hosszan tartó, magas kortizol-koncentráció immunszuppresszív hatása ronthatja az állatok egészségi állapotát (Dhabhar, 2000).

2.3.2. Invazív módszerek

Az akut hőstressz hatására a hipotalamusz-hipofízis-mellékevese tengely aktiválási folyamata fokozza a kortizol termelését és keringését az állati szervezetben, ami elsődleges indikátor a stressz jelenlétére (*Sejian et al.*, 2018). Tejelő szarvasmarhákban a kortizol (*Cole et al.*, 1988; *Mitchell et al.*, 1988) és egyes immunindikátorok vérbeli koncentrációja nagy pontossággal mérhető (*Murata*, 1989; *Agnes et al.*, 1990). A haptoglobin (Hp) egy akut fázis fehérje, amit a máj parenchyma sejtjei szintetizálnak az akut fázis válasz részeként, amikor szöveti károsodás, gyulladás, fertőzés és stresszre adott válaszként a véráramba kerül (*Lomborg et al.*, 2008; *Bannikov et al.*, 2011). A megemelkedett haptoglobinszint azt jelzi, hogy a hőstressz során a tápanyag feltehetően a termelési folyamatok helyett az immunrendszer aktiválódására fordítódik (*Appuhamy*, 2021). A hőstressz közvetlenül (pl. takarmányfelvétel) vagy közvetetten (tejhozam és beltartalom) befolyásolhatja a vér metabolitjait a homeosztázis fenntartásához szükséges mechanizmusok aktiválása révén a káros hatások csökkentése érdekében (*Kim et al.*, 2018; *Lees et al.*, 2019). A hőstresszre adott válasz egy összetett molekuláris folyamat, amely magába foglalja a stresszhez kapcsolódó gének transzkripció és poszttranszkripció szabályozását. Az akut környezeti változás sejtszinten indítja be a hőstressz reakciót (*Li et al.*, 2018). Egyes kutatók RNS szekvenálással meghatározták a génexpresszióban történő változásokat a perifériás fehérvérsejtek (invazív) és a tej szomatikus sejtjeinek (nem-invazív) környezeti stresszre történő reagálóképességét. In vivo azonosították a hőstressz potenciális génjeit, az alapvető változásokat a lipidanyagcserében, a szív- és érrendszerben, valamint a hősokk-fehérjék szerepét a sejtszintű adaptációban hőterhelt időszakokban. Az egyes gének szabályozásában történő változások azt jelzik, hogy a gyulladás kulcsfontosságú biológiai folyamat, amit a perifériás fehérvérsejtek hőterhelése befolyásol (*Garner et al.*, 2020). A vérminták gyűjtése azonban az állatok ismételt kezelésével jár, amely önmagában is stresszt okoz az állatnak és befolyásolhatja az eredményeket (*Cook*, 2012), így napjainkban egyre nagyobb teret nyernek a nem-invazív módszerek.

3. SAJÁT VIZSGÁLATOK

3.1. Az árnyékolás hatása tejhasznú borjak viselkedési és élettani paramétereinek alakulására hőterhelt és hősemleges időszakban

3.1.1 A vizsgálat jelentősége

A gyakorlatban a választás előtti borjak kevesebb figyelmet kapnak, mivel a nagyobb testfelület/testtömeg arányuk miatt kisebb a hőterhelésük, mint a termelő teheneké (Broucek *et al.*, 2009), azonban a születés utáni hőterhelés nagymértékben befolyásolhatja a felnevelés eredményességét (Tao & Dahl, 2013; Dado-Senn *et al.*, 2020). A borjak esetében a hőstressz indikátorai és határértékei, illetve a megfigyelt élettani változások mértéke még nem megfelelően definiált a szakirodalomban (Bakony és Jurkovich, 2020). Peña *et al.* (2016) a hőstresszt rektális hőmérséklet és légzésszám alapján értékelték borjaknál, azonban, az akut hőstressz kimutatására más fiziológiás mérések is léteznek. A hőstressz okozta diszkomfort első jeleként megváltozik a viselkedés, a borjak keresik az árnyékot, gyakran változtatják testhelyzetüket (Roland *et al.*, 2016), ugyanakkor a legmelegebb órákban csökken a testhelyzet változtatás gyakorisága és kevesebbet mozognak (Kovács *et al.*, 2018a). A párolgásos hővesztés fokozása érdekében nő a légzésszám, amely akár 50%-kal, az élettani 30-50 belégzés/percről 70-140 belégzés/percre is növekedhet. A hőstressz okozta főbb élettani és viselkedési változások közül a se során a hőstressznek kitett borjak szimpatikus tónusa magasabb, azaz a hőterhelés akut stresszt vált ki (Kovács *et al.*, 2018b). Habár pontos meghatározás nincs a szakirodalomban a THI kritikus értékére borjaknál, Dado-Senn *et al.* (2020) javaslata alapján 65 THI felett érdemes ellenőrizni a borjak hőkomfortját, ugyanis 82 THI felett a tejpótló-felvétel is csökken, amelynek metabolikus, fejlődési és jólléti vonatkozásai is lehetnek.

Kísérletünkben a tejelő borjak hőstresszre adott akut élettani válaszait értékeltük árnyékolt és nem árnyékolt környezetben. Rektális hőmérsékletet, légzésszámot és szívritmust mértünk, összefüggéseket keresve az élettani mutatók, a környezeti hőmérséklet, a relatív páratartalom és a THI között. Azt feltételeztük, hogy a légzésszám és a szívritmus szorosabb korrelációt fog mutatni a meteorológiai értékekkel, mint a rektális hőmérséklet, illetve, hogy az állaton mért értékek és a meteorológia mérések közötti összefüggések eltérőek lesznek a termikus környezettől függően. Hipotézisünk másik része, hogy a közvetlen napsugárzásnak kitett borjaknál stressz hatására aktiválódik a HPA-tengely, ami nagyobb mértékű kortizolkiválasztást fog eredményezni. Ennek monitorozására nem-invazív nyálmintavételi protokollt dolgoztunk ki és ezen paraméter eredményei alapján is értékeltük az árnyékolás kedvező hatását a választás előtti időszakban.

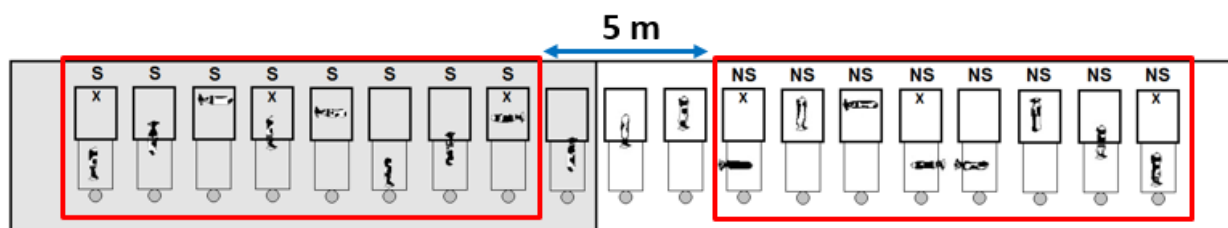
3.1.2. Anyag és módszer

3.1.2.1. A kísérlet helyszíne és elrendezése

A kísérletet egy hazai nagy létszámú tejelő tehenészetben (N47°18'191" E18°48'336") végeztem, ahol 1000 holstein-fríz tehen és szaporulata található. A regionális meteorológiai előrejelzések alapján választottam ki a vizsgálat napjait. A munkát az árnyékoló szerkezet (**2. kép**) felállításával kezdtük árnyékolt (n=8) és nem árnyékolt (n=8) borjúkunyhók és a hozzájuk tartozó kifutók fölé. A vizsgálatok előtti 2 nap során a borjak új környezethez szoktatása is megtörtént.



2. kép Az árnyékoló szerkezet a borjúketrecek fölött *Fotó: Jurkovich Viktor*



1. ábra Árnyékolt és nem árnyékolt borjúketrecek elrendezése

Az 1. kísérleti napon (kontroll, max. 28,3 °C a borjúházak környezetében) az összes borjú árnyékolva volt 24 órán keresztül, majd az árnyékolót eltávolítottuk a nem árnyékolni kívánt csoport fölé. A kísérlet 2. napját tekintetem hőstresszes napnak (max. 37,7 °C az árnyékolt borjúházak környezetében) és a 3-5. napot a stressz utáni időszaknak (3. nap max. 30,3 °C, 4. nap max. 26,5 °C és 5. nap max. 24,3 °C az árnyékolt borjúházak környezetében).

A telepen a borjak tartása egyedi ketrecben, kor és ivar szerint csoportosítva, 1,65 × 1,20 m műanyag borjúházakban (Calf-Tel ECO, Hampel Animal Care, Wisconsin, USA) történt, 1,60 m²

kifutóval. Az egyedhez köthető (ivar, kor, testtömeg) és a környezeti tényezők (egyedi ketrecek elhelyezkedése) lehetséges hatásainak elkerülése érdekében hasonló életkorú és testtömegű (életkor = $46,7 \pm 2,4$ nap, testtömeg = $74,3 \pm 2,6$ kg), egy héttel választás előtti 7 hetes bika borjakat választottam ki ugyanazon sorban és közülük jelöltünk ki árnyékolt és nem árnyékolt kísérleti állatokat (**1. ábra**). Az árnyékoló szerkezet $32,5 \times 3,4$ m volt, amely a borjúkunyhókat és a kifutókat is lefedte. Az árnyékoló levételét követően a nem árnyékolt egyedi ketrecek direkt napsugárzásnak voltak kitéve 5 m-rel az árnyékolt csoporttól. A zöld raschel háló (Nortene Texanet, Celloplast S.A.S., Ballée, Franciaország) mint árnyékoló eszközt a talajtól 2 m magasságba helyeztük, amely a gyártó szerint 80%-os árnyékot biztosít.

A borjak egyszeri etetésre 3,8 liter tejpótlót kaptak reggel (5:00) és *ad libitum* lucernaszénát és borjúindító tápot (Purina starter, Cargill, USA), amely megfelelt a választás előtti holstein-fríz borjak szükségleteinek. Napi kétszer friss vizet biztosítottak műanyag vödörben (7,6 liter) a borjak számára. A takarmányozás a kísérlet alatt nem változott.

3.1.2.2. Az állatok mikrokörnyezete

A környezeti hőmérséklet és relatív páratartalom méréséhez VOLT-CRAFT DL-181THP (Conrad Electronic SE, Hirschau, Németország) eszközt helyeztem fel egyenként a kísérleti borjúkunyhók hátsó részébe, valamint az árnyékoló szerkezet tartóoszlopára a talajtól 1 m magasságban a kifutók fölé. Harminc perces rögzítési gyakoriságot választottam mindkét eszköznél a kísérlet 1. napja 0:00 (első rögzítés) és 5. napja 24:00 (utolsó rögzítés) között. A borjak termikus mikrokörnyezetének jellemzésére a hőmérséklet, relatív páratartalom és THI értékeit használtam. A THI Mader et al. (2006) által leírt képlet alapján került kiszámításra:

$$\text{THI} = (0,8 \times T) + (\text{RH}/100) \times (T - 14,4) + 46,4$$

ahol, a T a száraz léghőmérsékletet (°C), a RH a relatív páratartalmat (%) jelenti

3.1.2.3. A légzésszám és testhőmérséklet mérése

A légzésszámot (belégzés/perc) az oldalsó hasizmok légzés közbeni mozgásának számlálásával figyeltük meg és rögzítettük 1. nap 0:00 óra (első megfigyelés) és az 5. nap 24:00 (utolsó megfigyelés) között, 4 óránként, minden kísérleti állat esetében.

A légzésszám megfigyelését követően azonnali rektális hőmérséklet mérés következett (Digi-Vet SC 12; Jørgen Kruuse A/S, Langeskov, Dánia).

3.1.2.4. A szívritmus mérése

A szívritmust folyamatosan rögzítettük a kísérleti 1. nap (0:00) és 5. nap (24:00) között két integrált elektródával ellátott Polar elektróda övvel, kompatibilis Polar H7 HR szenzorral és Polar V800 szívritmusmérő órával (POLAR, Kempele, Finnország) (**3. kép**). Az eszközöket a 0. napon szereltük fel az állatokra és az 5. napon távolítottuk el, majd az adatokat a Polar FlowSync programba töltöttem. A szívritmus elemzését a Kubios HRV standard szoftverrel (version 2.2, Biomedical Signal Analysis Group, Department of Applied Physics, University of Kuopio, Finnország) végeztük, azonos hosszúságú 5 perces rögzített felvételek alapján az állatok zavartalan fekvési viselkedése mellett.



3. kép Polar Equine® V800 szívritmusmérő

<https://zerge.hu>



4. kép Salivette nyálmintavevő

<https://www.sarstedt.com/>

3.1.2.5. A nyálmintavételek

A nyálmintavételhez szintetikus tampon (Salivette cortisol, Sarstedt, Nümbrecht-Rommelsdorf, Németország) (**4. kép**) használtunk az 1. nap 0:00 és az 5. nap 24:00 között 4 órás időközönkénti mintavétel mellett. A tampon a borjak nyelvére helyeztük amíg jól megszívták magukat nyállal, majd a Salivette propilén csövekbe kerültek, amelyeket 4 °C-on tároltuk centrifugálásig (1000 g, 10 perc). Mintánként legalább 1,5 ml nyálat nyertünk, amit -20 °C-on fagyasztottunk a laborvizsgálatig és a kiértékelésig.

3.1.2.6. Kortizol koncentráció mérése

A kortizol koncentráció közvetlen radioimmunoassay (RIA) módszerrel, extrakció nélkül került mérésre, 1,2,6,7-3H-kortizol (TRK 407; Radiochemical Center, Amersham, UK) és egy nagyon specifikus poliklonális ellenanyag felhasználásával, amelyet nyulakban állítottak elő a kortizol-21-HS-BSA ellen. A keresztaktivitás a következők szerint alakult: kortizol 100%, kortikoszteron 19%, prednizolon 9,5%, dezoxikortizol 6,4%, 17 α -OH-progeszteron 5,7%, progeszteron 2,6%,

egyéb 22 szteroid 0,54% és 0,0001% között. A vizsgálati protokoll a Sigma Chemical Company (St. Louis, MO) által biztosított kortizol (molekulatömeg:362,5) kortizolmentes plazmában készítették el, 2000 fmol és 31,25 fmol/tubus közötti tartományban. Frakciósztétválasztás az ellenanyaghoz kötött és szabad frakciókat hideg, dextránnal bevont szénsuszpenzióval választották el egy 18-24 órás inkubációt követően. A rádióaktivitás mérése TriCarb folyadékszintillációs számlálóval (Perkin Elmer, Inc, Downers Grove, IL) történt. A vizsgálati érzékenység 11,37 fmol/tubus, koncentrációtartomány 2,0-100,0 nmol/mL, intra-assay variációs koefficiens (CV) 3-8%, inter-assay variációs koefficiens 5-10%, 100,0 nmol/L feletti kortizolkoncentrációjú mintákat hígítás után újramérték.

3.1.3. Statisztikai értékelés

A statisztikai értékeléshez az R-3.0.2. programot használtuk (*R Core Team*, 2024). Az adatok szóráshomogenitását Levene-tesztel vizsgáltuk, míg a hibák normáloszlását Shapiro–Wilk-próbával ellenőriztük az árnyékolt és a nem árnyékolt csoportok esetében egyaránt. Az állat alapú hőstressz indikátorok és a termikus paraméterek közötti összefüggéseket Pearson-féle korrelációval értékeltük. Fisher-féle z-transzformáción alapuló z-teszt segítségével 0,05 szignifikancia mellett megvizsgáltuk, hogy van-e különbség a korrelációs együtthatók között a környezet alapján (árnyékolt vs. nem árnyékolt).

Az árnyékolás állatok hőmérsékleti környezetére gyakorolt hatásának értékeléséhez a kiválasztott THI indexek maximális és átlagos értékeit számítottuk ki minden kísérleti napra vonatkozóan, és összehasonlítottuk az árnyékolt és nem árnyékolt csoportok között a borjúkunyhók környezetében. Az árnyékolás hatását az állatok termikus mikrokörnyezetére 30 perces gyakorisággal rögzített meteorológiai adatok alapján t-próbával hasonlítottuk össze 0,05 szignifikancia szinten. Továbbá ugyanezen módszer segítségével az árnyékolás hatását az állatok fiziológiai válaszainak összehasonlításával vizsgáltuk az árnyékolt és nem árnyékolt csoportok között, figyelembe véve az egyedek maximális és átlagos légzésszámát, szívfrekvenciáját, és rektális hőmérsékletét minden kísérleti napon. Ebben az elemzésben az összes rögzített állatalapú adatot felhasználtuk, függetlenül attól, hogy a mérések a borjúházban vagy a kifutóban történtek.

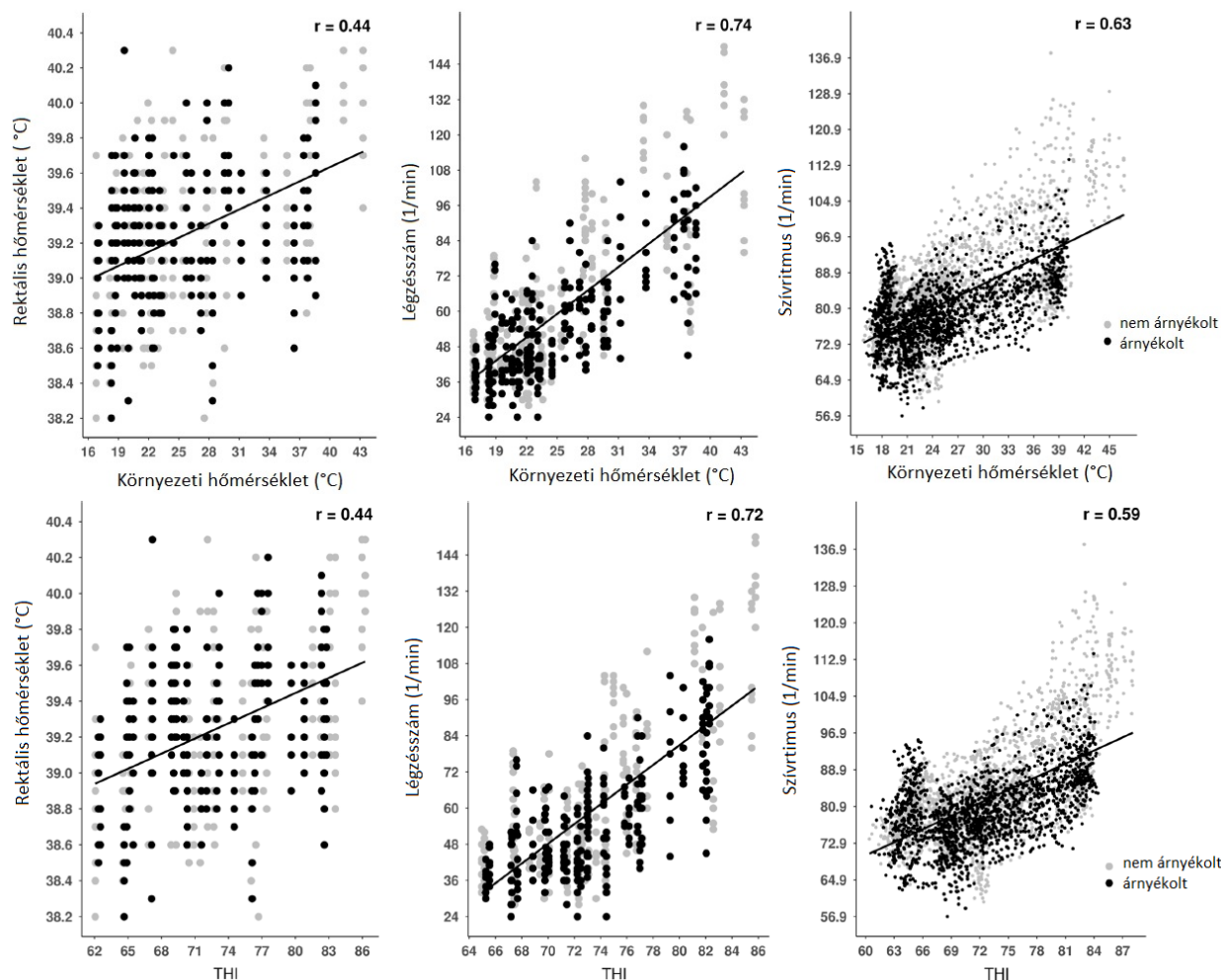
A nyálkortizol koncentrációt árnyékolt és nem árnyékolt borjaknál lineáris kevert modellek alkalmazásával hasonlítottuk össze, a csoportot és a mintavételi időket (0:00, 4:00, 8:00, 12:00, 16:00, 20:00) fix tényezőnek tekintve. Minden modellben véletlenszerű tényezőként szerepelt a borjú és a fő tényezők közötti összes lehetséges kölcsönhatást magába foglalta. Az árnyékolt és nem árnyékolt csoportok összehasonlítása Fisher féle transzformáción alapuló z-próbával történt

minden modellben. A $p < 0,05$ értéket tekintettük szignifikánsnak. Az összes eredményt az átlag $\pm$ standard hiba (SEM) értékekben fejeztünk ki.

3.1.4. Eredmények

3.1.4.1. Az élettani paraméterek összefüggése a környezeti hőmérséklettel és THI-vel

Az állatokon mért hőstressz indikátorok erős pozitív korrelációt mutattak a környezeti hőmérséklettel és a THI-vel (2. ábra).

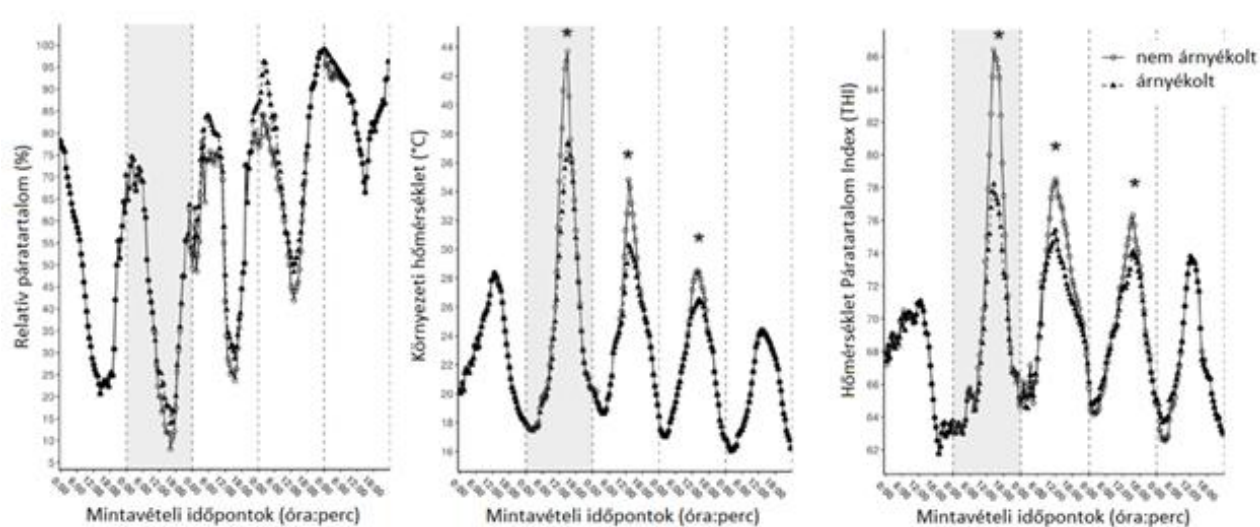


2. ábra: A rektális hőmérséklet, a légzésszám és a szívrítmus összefüggései a környezeti hőmérséklettel és THI-vel választás előtti borjakon

A pontok egyéni értékeket jelölnek ($n = 480$ a rektális hőmérsékletére és légzésszámra; $n = 3840$ a pulzusszámra) az 1. nap 0:00 óra és az 5. nap 24:00 óra között; A vonalak egyszerű lineáris regressziós egyenleteket jelölnek, az 'r' pedig a korrelációs együtthatót.

Azt feltételeztük, hogy a rektális hőmérséklet kevésbé fog korrelálni a meteorológiai paraméterekkel, mint más fiziológiai paraméterek. A kísérlet igazolta ezt a hipotézist, ugyanis a rektális hőmérséklet közepes korrelációt mutatott, míg a fiziológiai paraméterek esetében erős

korrelációt tapasztaltunk a meteorológiai értékekkel. Ezek alapján a légzésszám és a szívritmus megfelelőbbnek bizonyult a rektális hőmérsékletnél az akut stressz mérésére tejlő borjakban. Másik hipotézisünk miszerint a hőkönyezeti feltételek befolyásolják a fiziológiai és meteorológiai paraméterek közötti korrelációkat, részben igazolást nyert. Érdekes módon a rektális hőmérséklet volt az egyetlen állatalapú paraméter, amely erősebb korrelációt mutatott a THI indexekkel a nem árnyékolt környezetben ($r_a = 0,42$ vs. $r_{n\hat{a}} = 0,47$, $p = 0,032$ (környezeti hőmérséklet), $r_a = -0,39$ vs. $r_{n\hat{a}} = -0,45$, $p = 0,012$ $p = 0,015$ (relatív páratartalom), $r_a = 0,41$ vs. $r_{n\hat{a}} = 0,46$, $p = 0,022$ (THI)). Egy korábbi tanulmányban *Dikmen et al.* (2009) $r=0,52$ korrelációt mutattak ki a THI és a rektális hőmérséklet között tejlő teheneknél, magas környezeti hőmérséklet mellett. Az említett szerzők eredményeit tekintve megállapításaink arra utalnak, hogy a rektális hőmérséklet és a környezeti hőstressz indexek közötti összefüggések erősebbek lehetnek nagyobb hőterhelés mellet.



3. ábra: A környezeti paraméterek (relatív páratartalom, RH; környezeti hőmérséklet, °C; hőmérséklet-páratartalom index, THI) alakulása az árnyékolt és nem árnyékolt csoportban. A szürkével jelölt a kísérlet második napja, a hőstressz nap, a szignifikáns eltéréseket ($p < 0,05$) a csoportok között a csillagok jelölik.

Statisztikai eltérés nem volt igazolható a relatív páratartalom maximum és átlagértékeiben az árnyékolt és nem árnyékolt csoportok környezetében a kísérlet során.

Az 1. napon (kontroll) nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést a környezeti hőmérséklet maximális és átlag értékeiben ($p=0,875$, $p=0,920$) és a THI-ben ($p=0,930$, $p=0,945$).

A 2. nap (0:00) és 4. nap (24:00) között mért értékek bizonyítják az árnyékolás pozitív hatását a hőkönyezetre. A 2. napon megfigyelt maximális hőmérséklet és THI 16:00 órakor a nem árnyékolt egyedi ketrec környezetében magasabb volt, mint az árnyékolt kísérleti csoportnál ($n\hat{a}43,7 \pm 0,1$ vs. $\hat{a}37,7 \pm 0,1$ °C, $p=0,005$ és $n\hat{a}86,4 \pm 0,1$ vs. $\hat{a}78,2 \pm 0,1$ $p < 0,001$).

Az árnyékolt egyedi ketrecekben a nem árnyékolt csoporthoz képest csökkent a hőterhelés, ami az átlaghőmérsékletben is tükröződött hőstressz napokon ($n_{\text{a}}28,5 \pm 0,1$ vs. $\text{á}24,2 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$; $p < 0,001$) és a THI-ben is ($n_{\text{a}}78,1 \pm 0,1$ vs. $\text{á}71,3 \pm 0,1$; $p = 0,011$).

A maximum és átlagos napi környezeti hőmérséklet az árnyékolt csoportnál alacsonyabb volt, mint a nem árnyékolt egyedi ketrecek környezetében a 3. kísérleti napon ($p < 0,001$ és $p = 0,005$) és 4. napon ($p = 0,008$ és $p = 0,012$).

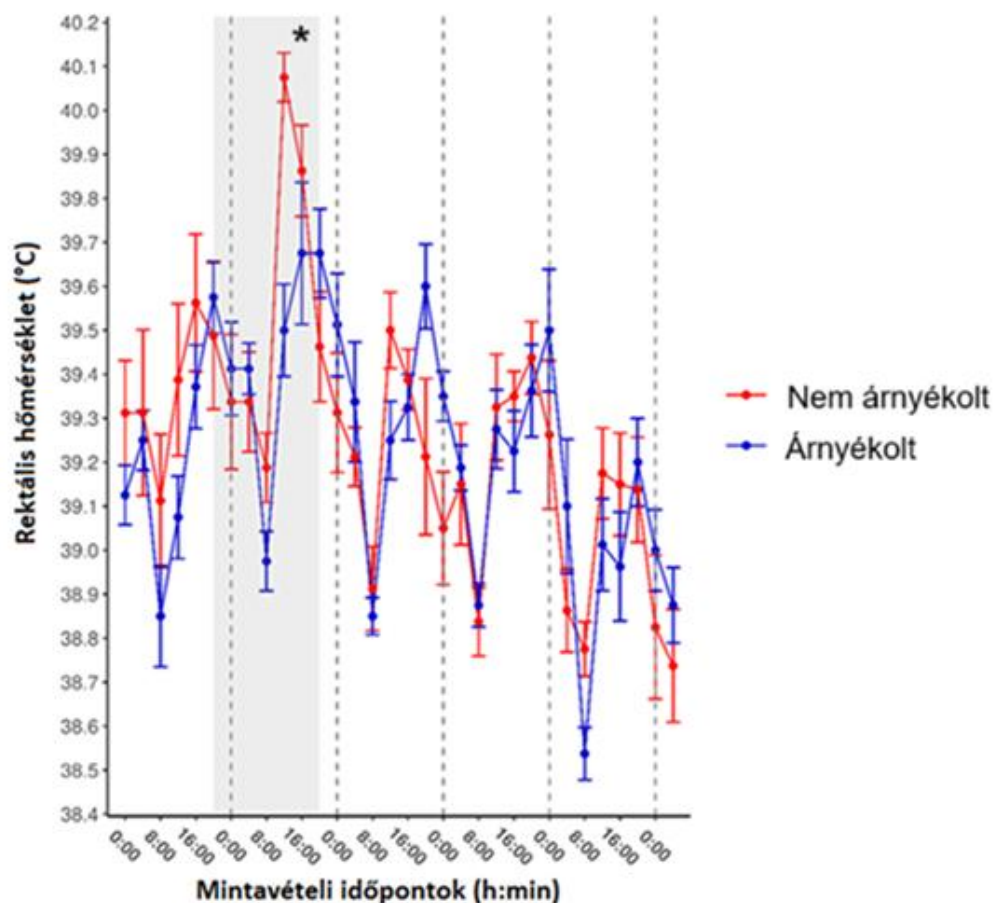
A maximális és átlagos THI hasonló eltérést mutatott az árnyékolt és nem árnyékolt csoportok között a poszt-stressz időszak első 2 napján (3. nap $p = 0,003$, $p = 0,014$; 4. nap $p = 0,015$, $p = 0,026$). Az 5. napon nem volt különbség a maximális és átlagos napi környezeti hőmérséklet ($p = 0,395$, $p = 0,420$) és a THI ($p = 0,526$, $p = 0,545$) értékek között (**3. ábra**).

Kísérletünkben arra fókuszáltunk, hogy olyan nem-invazív módszerek, mint például szívritmus mérés alkalmas lehet-e a hőstressz felmérésére fiatal borjakon. Különösen kíváncsiak voltunk a borjak akut stresszválaszaira tipikus hőstresszes nyári meleg időszakban.

Az ötnapos kísérlet során mért fiziológiás paraméterek elemzése igazolta, hogy a fiatal borjak számára kiegészítő árnyékolás biztosítása szükséges az akut, súlyos hőstressz csökkentése érdekében. Az élettani paraméterek magas stresszintet jeleztek az árnyék nélküli borjaknál a 2. és 3. napon és a csoportok közötti különbségek kifejezettebbek voltak a légzésfrekvenciában és szívritmusban, mint a rektális hőmérséklet esetében. Eredményeink összhangban vannak a korábbi megállapításokkal miszerint a kérődzők akut hőstresszre adott élettani válaszai már 24-48 órán belül megfigyelhetők (*Silanikove*, 2000). Jelen vizsgálatunkban a hőstresszes napon a maximális hőmérséklet elérte a 43°C -ot, a THI értéke pedig a 86 egységet a nem árnyékolt borjúkunyhókban. *Neuwirth et al.* (1979) 4 hetes borjakban $37,7^{\circ}\text{C}$ -on (ami a mi vizsgálatunkban az árnyékolt kunyhók maximális hőmérséklete volt) már jelentős alkalmazkodási kísérletet igazoltak a hőstresszhez olyan szisztémás stresszindikátorok alapján, mint pl. szérum tiroxin- és kortizol szint.

3.1.4.2. A rektális hőmérséklet változása

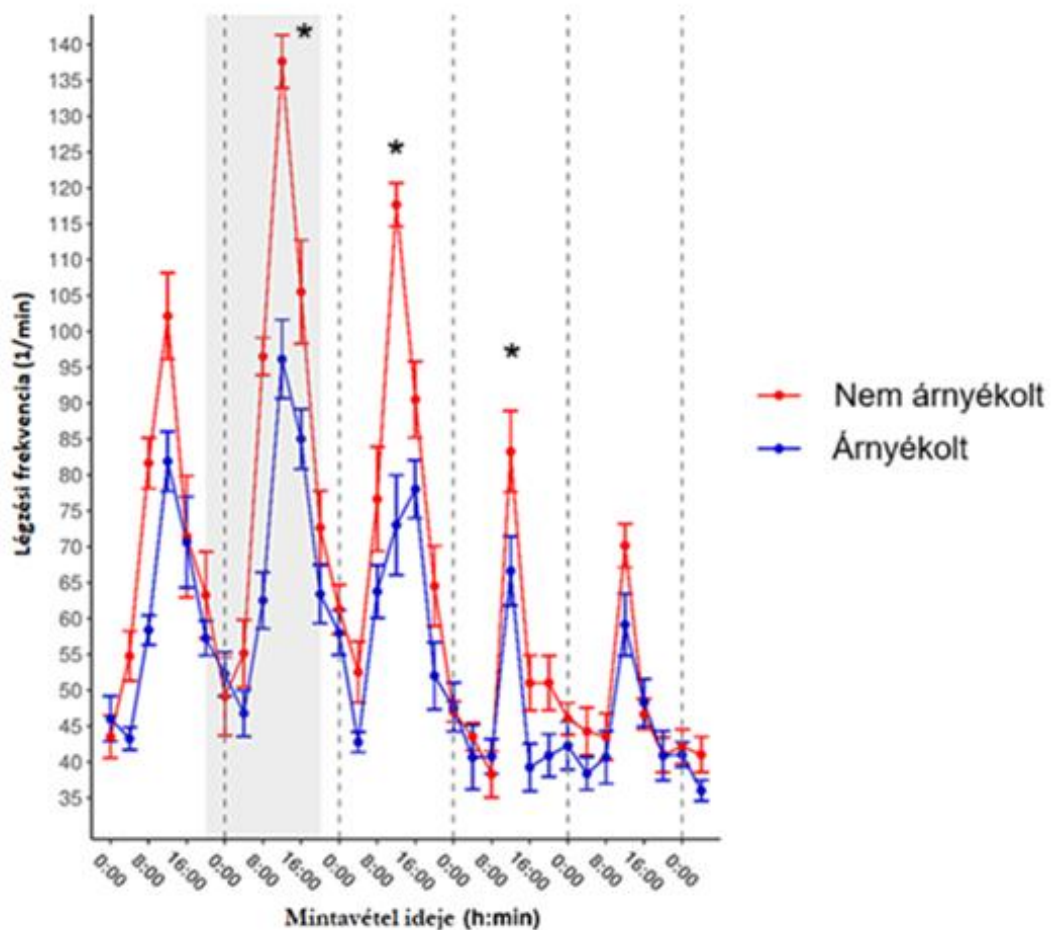
Bár a rektális hőmérséklet átlagértékei nem tükrözték az árnyékolás pozitív hatását a 2. napon ($p=0,865$), a testhőmérséklet maximális értékeiben szignifikáns, de nem jelentős csoportbeli különbségeket találtunk ($0,5^{\circ}\text{C}$, $p=0,046$) a végbélben mért maximális testhőmérséklet között (**4. ábra**). Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a kísérleti állatok hőszabályzó képessége megfelelően működött és feltehetően nőtt a vízfelvétel és csökkent a takarmányfelvétel, azonban ebben a kísérletben ezeket a paramétereket nem mértük.



4. ábra: A rektális hőmérséklet változása árnyékolt és nem árnyékolt választás előtti tejhasznú borjakban 5 napos kísérlet során. A szignifikáns eltéréseket ($p < 0,05$) a csoportok között a csillag jelöli.

3.1.4.3. A légzési frekvencia változása

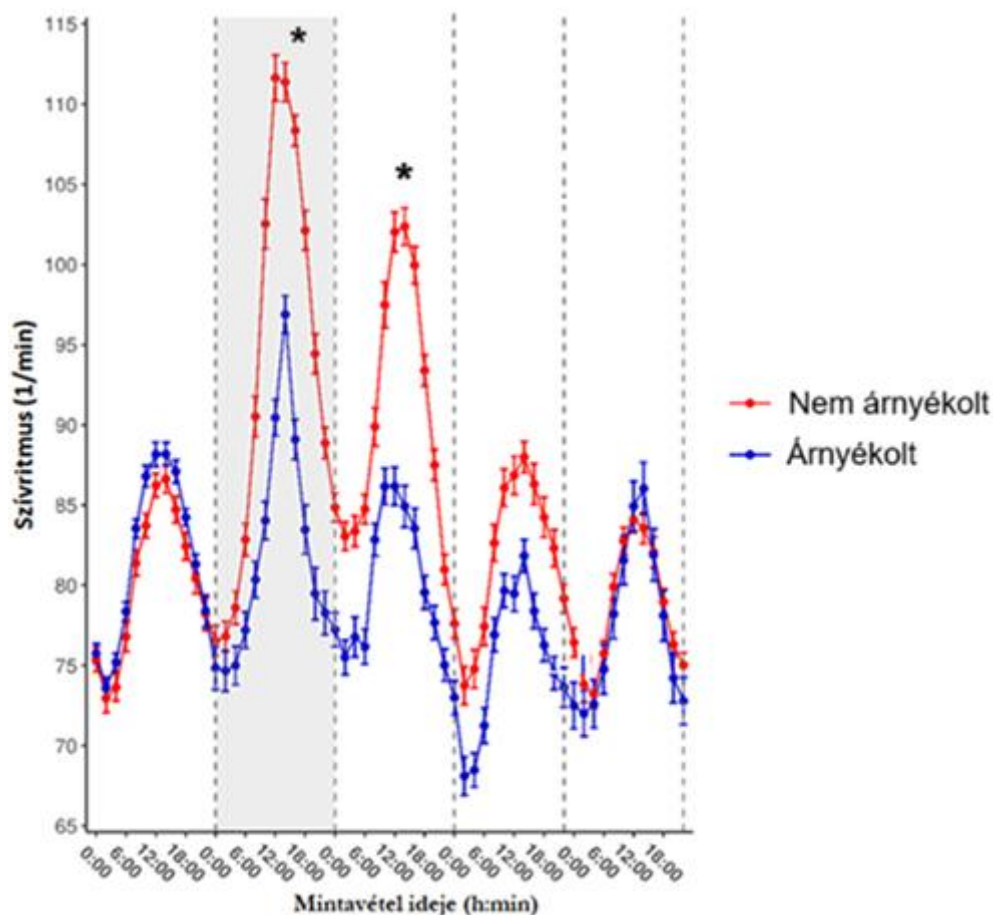
Korábbi megfigyelések alapján árnyékolt egyedi ketrecben a légzésszám alacsonyabb, átlagosan 10,4 légvétel/perccel. Lima *et al.* (2013) alacsonyabb légzésszámot rögzítettek (47,3 vs. 57,7 légvétel/perc) árnyékolt borjaknál, mint nem árnyékolt társaiknál 15:00 órai mérési időpontban. Moore *et al.* (2012) megállapították, hogy minden 1 °C-os emelkedés a borjúketrec belső hőmérsékletében 2 légvétellel/perc növelte a légzésszámot.



5. ábra: A légzési frekvencia változása árnyékolt és nem árnyékolt választás előtti tejhasznú borjakban 5 napos kísérlet során. A szignifikáns eltéréseket ($p < 0,05$) a csoportok között a csillagok jelölik.

Kísérletünkben nagyobb volt a különbség a 2. és 3. napon, ugyanis a nem árnyékolt környezetben a borjak maximális légzésszáma átlagosan 25,9 és 17,8 belégzés/perccel volt magasabb. A légzésszám napi átlaga is magasabb volt az árnyékolásban nem részesült borjakban a 2. ($p = 0,008$) és a 3. napon ($p = 0,010$) árnyékolt társaikhoz hasonlítva (5. ábra). Feltehetően a kísérletünkben résztvevő borjak kevésbé alkalmazkodtak a szélsőséges hőmérséklethez vagy mikrokörnyezetük egyéb jellemzőihez. Az említett korábbi tanulmány és az általunk mért értékek közötti jelentős eltérés magyarázata lehet, hogy a mintavételi napokon mért átlagos levegőhőmérséklet 16,5 és 38,2 °C között változtak, míg a vizsgálatunkban az állatok extrém magas hőmérsékletnek voltak kitéve a 2. és 3. napon. A nem árnyékolt kunyhóban 17,1 és 43,4 °C között, míg a nem árnyékolt kifutóban 17,8 és 46,5 °C között változott.

3.1.4.4. A szívritmus változása



6. ábra: A szívritmus változása árnyékolt és nem árnyékolt választás előtti tejhasznú borjakban 5 napos kísérlet során. A szignifikáns eltéréseket ($p < 0,05$) a csoportok között a csillagok jelölik.

A hőstressz napokat követően a légzésszámban és a szívritmusban (6. ábra) is jelentős különbségeket tapasztaltunk, mindkét paraméter esetében magasabb volt a maximális és a napi átlagérték a nem árnyékolt állatok esetében. Az árnyék nélküli borjak még a 4. napon is szignifikánsan magasabb maximális légzésszámot mutattak ($p = 0,025$), ami arra utal, hogy hosszabb időbe telik akklimatizálódásuk a hőterhelt környezethez. Az árnyék nélküli borjaknak magasabb volt a maximális és átlagos szívritmusa a 2. napon ($p < 0,001$ és $p = 0,010$) és a 3. napon ($p = 0,005$ és $p = 0,012$), ami feltehetően a gyakoribb lélegzetvételeknek köszönhetően megnövekedett fizikai aktivitás következménye.

A szívfrekvencia (HR) a stressz általánosan elfogadott indikátoraivá váltak szarvasmarhák esetében, mivel tükrözik a szív szimpatikus és paraszimpatikus (vagus) tónusát (Kovács *et al.*, 2014). A szívfrekvencia napközben fokozatosan emelkedett, 12:00 és 14:00 között érte el a maximumát, és a minimumértékek 02:00 órákor voltak megfigyelhetők mind az árnyékolással

ellátott, mind az árnyékolás nélküli borjak esetében a kísérlet teljes tartama során, az 5. nap kivételével, amikor a minimumok 04:00 órakor mutatkoztak. *Bianca* (1958) korábbi eredményéhez hasonlóan, abban a fázisban, amikor a légzés lassabbá és mélyebbé vált, a szívfrekvencia nem csökkent a fiatal borjakban. A délutáni órákban észlelt tartósan magas szívfrekvencia a légzőizmok fokozott aktivitásának és hőtermelésének az eredménye lehetett.

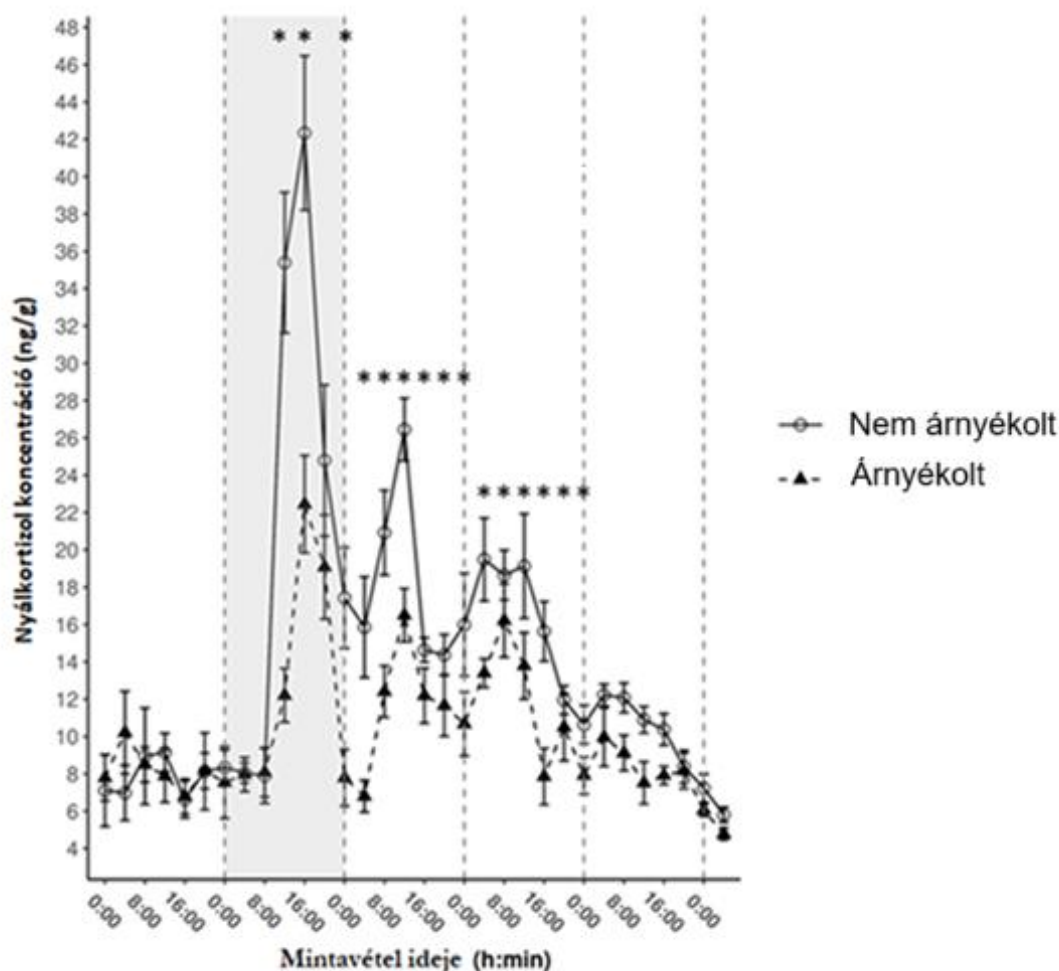


5. kép Szívritmus mérés Polar órával borjakon *Fotó: Jurkovich Viktor*

Bár az árnyék nélküli borjak jelentős hőterhelésnek (a maximális THI érték meghaladta a 78-at) voltak napközben kitéve, a harmadik nap délutáni óráiban, az összes vizsgált élettani paraméter maximális értékei még így is a fiziológiás tartományon belül maradtak. Azt is meg kell jegyezni, hogy bár a 2. napon rendkívül magas volt a hőterhelés, a nappali és éjszakai hőmérséklet közötti 18,2 és 16,4 C-os csökkenés (a 2. és 3. napon) lehetővé tették a borjak számára a testhőmérséklet csökkenését, ezáltal az élettani és viselkedési paraméterek normalizálódását. Az árnyék nélküli borjak az éjszakai mintavételezések során jellemzően álló testhelyzetben voltak a kifutóban, míg az árnyékolt borjak többnyire feküdtek a borjúkunyókban (**5. kép**). Eredményeink alátámasztják, hogy a követlen napsugárzás kedvezőtlenül hat a borjúkunyókban tartott tejhasznú borjak jóllétére.

3.1.4.5. A nyál kortizol koncentráció változása

Általánosságban elmondható, hogy a nyál kortizol szintje hasonló mintázatot mutatott az árnyékolt és nem árnyékolt borjak esetében az ötnapos kísérlet során (7. ábra).



7. ábra: Nyálkortizol koncentráció változásai árnyékolt és nem árnyékolt választás előtti tejhasznú borjakban 5 napos kísérlet során. A szignifikáns eltéréseket ($p < 0,05$) a csoportok között a csillagok jelölik..

Az 1. napon (kontroll) az átlagos nyál kortizol koncentráció 6,5 és 10,2 ng/g között változott. Az árnyékolt borjaknál (6,5-10,2 ng/g) és a nem árnyékolt (6,7-9,3 ng/g) borjak között minimális egyedi eltérésekkel, de csoport szinten jelentős különbség nélkül alakultak az értékek. A 2., 3. és 4. napon jelentős nappali emelkedés és éjszakai csökkenést figyeltünk meg mindkét csoportnál. A 2. napon a nyálkortizol szintje mindkét csoportban kiegyensúlyozott maradt 8:00-ig majd hirtelen 51%-kal emelkedett az árnyékolt és 342%-kal a nem árnyékolt borjaknál. A csúcsot 12:00 körül érte el ($p = 0,586$ és $p < 0,001$) majd 16:00 körül mindkét csoportban. A nem árnyékolt csoportban magasabb kortizol koncentrációt tapasztaltunk 12:00, 16:00 és 24:00 ($p < 0,001$; p

$<0,001$ és $p = 0,046$) szignifikáns kölcsönhatásokkal a csoportok és a mintavételi idők között ($F_{5,70} = 8,00$, $p < 0,001$). A 2. napon 16:00 után fokozatosan csökkent a nyálkortizol koncentráció az árnyékolt ($p = 0,886$) és a nem árnyékolt ($p < 0,001$) csoportnál egyaránt, majd a 3. napon 4:00-kor érte el a legalacsonyabb szintet ($6,9 \pm 0,7$ és $16,0 \pm 2,3$ ng/g). Az árnyékolt borjak esetében a kortizolszint csökkenése (20:00 és 24:00 között, $p = 0,009$) hasonlóan a nappali emelkedéshez (12:00 és 16:00 között, $p = 0,025$), négyórás késéssel következett be az árnyék nélküli borjakhoz képest.

A 3. napon mindkét csoportban 12:00-kor tetőzött a nyál kortizolszintje. A délután folyamán az árnyék nélküli borjaknál a kortizolszint 16:00-ra a csúcérték felére csökkent (48,3%, $p = 0,039$), míg az árnyékos borjaknál ez a csökkenés mérsékeltebb volt (26,1%, $p = 0,675$).

A 4. napon a nyál kortizolszint változása hasonló volt a 3. naphoz mindkét csoportban, 4:00-kor enyhe emelkedést mutatott, amelyet egy nem szignifikáns nappali növekedés ($p = 0,752$ és $p = 0,685$), majd egy csökkenés követett 12:00 és 16:00 között mind az árnyékos, mind az árnyék nélküli borjak esetében ($p = 0,075$ és $p = 0,008$). A csoportok közötti különbség szignifikáns maradt a 3. napon egészen a 4. nap 24:00-ig ($p < 0,001$ minden mintánál).

Az 5. napon a nyál kortizolszintje az árnyékos borjaknál 7,2 és 9,4 ng/g, az árnyék nélküli borjaknál pedig 8,0 és 11,9 ng/g között mozgott, mindkét csoportban visszatért a kontrollnapon mért értékekhez. A kísérlet során a viszonylag alacsony 4 óránkénti mintavételi gyakoriság mellett a csúcérték pontos idejét nem tudtuk meghatározni azonban igyekeztünk minimalizálni a borjakkal való érintkezést, hogy elkerüljük a kortizol szintekre gyakorol külső hatásokat.

3.1.5. Megbeszélés

Vizsgálataink eredményei alapján a választás előtti tejhasznú borjak fiziológiai adottságaiknak köszönhetően jobban tolerálják a hőstressz kedvezőtlen hatásait a felnőtt, termelő tehenekhez képest. Ez elsősorban a nagyobb testfelület/testtömeg arányuknak és az alacsonyabb metabolikus hőtermelésüknek köszönhető, amelyek elősegítik a hőháztartás stabilabb fenntartását. Ennek ellenére az ötnapos kísérlet során a nem árnyékolt környezetben tartott borjak esetében a 2. és 3. napon akut hőstresszre utaló, szignifikánsan magasabb légzésszámot és szívfrekvenciát mértünk, amelyek megbízhatóbb indikátoroknak bizonyultak a rektális hőmérséklettel szemben. Az élettani válaszok, különösen a szívfrekvencia és légzésszám, erős pozitív korrelációt mutattak a környezeti hőmérséklettel és a THI indexekkel, míg a rektális hőmérséklet csak közepes korrelációt. Ez megerősíti azt a hipotézist, hogy a rektális hőmérséklet kevésbé érzékeny mutatója az akut hőstressznek. Ugyanakkor szélsőséges hőterhelés esetén, különösen nem árnyékolt környezetben,

a rektális hőmérséklet is informatívabbá válhat, ami azt jelzi, hogy a különböző indikátorok érzékenysége a hőkönyezeti feltételek függvényében változhat.

A nem-invazív stresszindikátor mint a nyálból mért kortizolszint, szintén bizonyítékul szolgált a hőstressz jelenlétére és mértékére. A nem árnyékolt borjaknál szignifikánsan magasabb kortizolcsúcsokat mértünk a délutáni órákban, különösen a hőstressz kezdetétől számított első 48–56 órában. A kortizolszintek napi ingadozása összhangban állt a hőmérséklet és a THI napi dinamikájával, és jól tükrözte az árnyékolás védő hatását. Az éjszakai lehűlés részben lehetővé tette a HPA-tengely regenerációját, ami alacsonyabb nappali stresszválaszhoz vezetett.

Az árnyékolás hatékonyan csökkent a hőstressz élettani és endokrin mutatókkal mérhető negatív hatásait a választás előtti tejhasznú borjakban. Eredményeink alapján egyértelműen javasolt a megfelelő mikroklima kialakítása – elsősorban az árnyékolás biztosítása – a nyári hónapokban, mivel ez elősegíti a borjak közérzetének javítását, az akut stressz mérséklését, és hosszú távon hozzájárul az állatjólléti és állategészségügyi szempontból kedvezőbb tartási környezethez. A szívfrekvencia és légzésszám, mint valós időben, nem-invazív módon mérhető paraméterek, különösen hasznos eszközök lehetnek a hőstressz gyors detektálására és a preventív intézkedések célzott alkalmazására. A hosszabb távú adaptációs folyamatok és az elhúzódó következmények hosszabb megfigyelés során lennének teljeskörűen értékelhetők, ezért a vizsgálat eredményei inkább a kezdeti akut reakciókra, mintsem a krónikus hatásokra vonatkoznak. A hosszabb távú kísérletek során fontos paraméter lehet a takarmány és vízfelvétel mérése, valamint a fekvési viselkedés megfigyelése az egészségre és növekedési ütemre gyakorolt hatások feltárásához. A tartós hőstressz hatására csökken a takarmányfelvétel és annak hasznosulása, energiát von el a szervezet a hőháztartás és az immunválasz fenntartására, valamint hormonális változásokat idéz elő pl. csökken a növekedési hormon és az IGF-1 (inzulinszerű növekedési faktor-1) ami a szövetek fejlődéséért és izomszövetek gyarapodásáért felelős, illetve emelkedik a kortizol ami gátolja a fehérjeszintézist. Ezek következménye lehet a lassabb gyarapodás, az első ellés időpontja kitolódhat továbbá negatívan befolyásolhatja a későbbi termelési potenciált és egészségi állapotot (Bakony & Jurkovich, 2020). Az elhúzódó növekedés, későbbi termelésbe állítás és az ebből adódó megnövekedett termelési költségek negatívan befolyásolhatják az állomány jövedelemtermelő képességét, akár generációkon keresztül (Monteiro et al., 2016).

3.2. Hatékonyabb ventilációs hűtés hatása a tejtermelő tehenek testhőmérsékletére, viselkedésére és termelésére hőterhelt időszakban

3.2.1. A vizsgálat jelentősége

A hőterhelés csökkentésére különböző stratégiák alkalmazhatóak pl. etetési idők hűvösebb időszakokra való eltolása (*Polsky és Keyserlingk, 2017*), takarmánykiegészítők etetése, azonban bizonyos hőmérséklet és páratartalom felett csupán a párologtató hűtés és szellőztető rendszerek (ventilátorok és vízpermetezők) bizonyulnak hatékonyak (*Armstrong, 1994*). A légmozgást elősegítő és a konvekciót növelő ventilátorberendezések csökkenthetik a légzésszámot és a rektális hőmérsékletet, valamint elősegíthetik a szárazanyag-felvételt (*Ji et al., 2020*). A hőstresszben szenvedő tehenek légzése fokozódik (*Strong et al., 2015*), a takarmányfelvétel és a tejhozam csökken (*Kim et al., 2021*) valamint megváltozik a tej összetétele (*Dikmen et al., 2020*).

A hőstressz nem csupán a fiziológiai mutatókra van hatással és a termelési teljesítmény csökkenésére (*Almuhanna et al., 2021*), hanem a bendő anyagcseréjére is (*Zhao et al., 2019*) valamint növeli az oxidatív stresszt (*Yu et al., 2020*). A hőstressz csökkenti a szárazanyag-felvételt és a tápanyagok emészthetőségét (*Gao et al., 2017*), ami elégtelen tápanyagellátást okoz. A hőhullámok intenzitásának növekedésével (*Wankar et al., 2021*) a tehenek egyre inkább függenek a hőstressz enyhítésére szolgáló stratégiáktól, azaz olyan tartási rendszereket kialakítása szükséges, melyekkel csökkenthető a környezeti stresszhatásoknak való kitettség, valamint a hőstressz okozta termelési veszteségek mérsékelhetők. A zárt téri rendszerekben elengedhetetlen a belső hőkörnyezet szabályozása, ezért a szellőzőrendszer és a párologtató hűtés alkalmazását jól meg kell tervezni (*Thornton et al., 2022*), hiszen a mikroklima közvetlenül befolyásolja a tehenek testhőmérsékletének szabályozását (*Spiers et al., 2018*).

A vizsgálat célja annak meghatározása volt, hogy a korszerűbb, nagyobb légsebességet biztosító ventilátorok alkalmazásával hatékonyabb tehen-és istállóhűtés valósítható-e meg, és ez milyen mértékben mérsékli a hőstressz káros hatásait a tejelő tehenek esetében. Feltételeztük, hogy a hatékonyabb hűtés következtében az állatok élettani és viselkedési paraméterei (tejtermelés, kérődzéssel- és takarmányfelvétellel töltött idő) kisebb mértékben térnek el a fiziológiás normálértékektől a hőterhelt időszakokban. Emellett úgy gondoltuk, hogy az új hűtetechnológia kedvező hatása sejtszinten is igazolható lesz a hőstresszel összefüggő gének (hősokkfehérjék, gyulladásos markerek, anyagcsereszabályozók) expressziós mintázatának változásán keresztül.

3.2.2. Anyag és módszer

A vizsgálat helyszíne N47°17'5039", E19°30'8116", ahol 800 tejelő szarvasmarha található, növendékeikkel. A hőstressz tejelő tehenekre gyakorolt hatásának vizsgálatára két nagy tejtermelésű csoportból (a telepen az 1B és a 3B istállók) kísérleti és kontroll csoportot alakítottam ki. Mindkét csoportban általában 100-100 állat tartózkodott. A csoportokon belül a csoportba sorolást megelőző hét átlagos termelése, a laktációk száma és a laktációs napok száma alapján tehénpáros módszerrel 20–20 állatot jelöltem ki, amelyekből biológiai mintát vettem, és egyedi vizsgálatokat végeztem rajtuk. Arra voltam kíváncsi, hogy a hőstressz csökkenthető-e egy modernebb technikával (hatékonyabb istállóhűtés új típusú ventilátorokkal), és ennek milyen hatása van az állatok egészségi állapotára, stressz-szintjére, termelésére és viselkedésére. A vizsgálathoz klinikailag egészséges, a laktáció eleji anyagforgalmi zavarokkal nem terhelt, a laktáció középső harmadában járó nagy tejtermelésű állatokat jelöltem ki (**1. táblázat**). Az állatok termékenyítés alatt álltak a beválogatáskor (~80 DIM), a 60 napos önkéntes várakozás idő után 0-2 termékenyítésük volt már. A kísérlet során mind vemhesült, átlagosan 120-140. DIM körül. A kísérlet vége felé 40-50 napos vemhesek voltak, tehát szaporodásbiológiai státuszukban nem volt olyan egyedi különbség, ami a kísérletek eredményét befolyásolhatta.

1. táblázat: Az állatok adatai a kísérlet kezdetén

Csoport	Napi átlagos tejtermelés a megelőző egy hétben	Laktáció száma	Tejelő napok száma
1B Kísérleti	54,6 ± 14,2	2,1 ± 0,3	99 ± 10
3B Kontroll	54,6 ± 9,3	2,2 ± 0,4	98 ± 10

A kísérleti csoport (1B) istállójába új, lamellával ellátott hőmérséklettől függő teljesítményű ventilátorokat telepítettek (VES ECV Air; VES-Artex, Chippewa Falls, WI, USA) (**6. kép**). A kontroll csoport (3B) istállójában a telepen régóta meglévő ventilátorok működtek. A két csoport között ezen kívül nem volt különbség a tartási és takarmányozási körülményekben. A kísérleti állatok déli oldalról nyitott, mélyalmos, kifutóval rendelkező istállóban tartózkodtak. Az almot naponta háromszor, fejésenként frissítették. A fejés naponta három alkalommal, egy 40 állásos Fullwood karusszal fejőházban történt. Az állatok naponta kétszer kaptak teljes takarmánykeveréket, míg az ivóvíz korlátlan mennyiségben biztosított volt számukra. A takarmány az istállón kívül, az itatóvályúk a kifutó oldalán voltak elhelyezve.



6. kép: Az új ventilátorok beszerelése az 1 B istállóban *Fotó: Szalai Szilvia*

2. táblázat: A vizsgált állatok kondíciójának változása

	csoport	2022.06.28.	2022.07.12.	2022.08.04.	2022.08.17.
kondíció pont	1B	2,5±0,6	2,7±0,6	2,7±0,6	2,6±0,5
	3B	2,7±0,6	2,8±0,8	2,8±0,6	2,7±0,7

Az állatok jó, átlagos kondícióban voltak a vizsgálat ideje alatt. A kondíció pontszámok megfelelőek figyelembe véve a laktációban eltöltött időt, és a nagy mennyiségű tejtermelést. A két csoport között megfigyelhető enyhe számszaki különbség betudható a tejtermelésben meglevő különbségnek .

3.2.2.1. Az állatok mikrokörnyezete

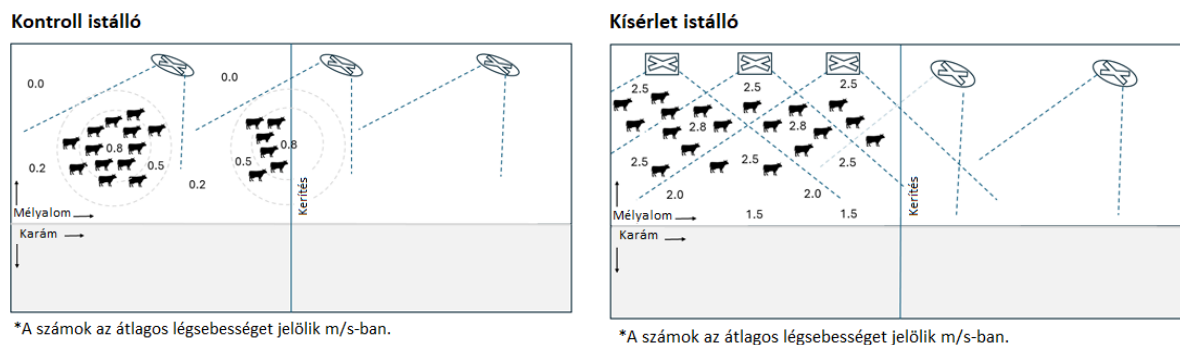
Az állatok környezetében a mikroklíma jellemzésére időjárási adatgyűjtőket használtam (Voltcraft DL-181THP; Conrad Electronic SE, Hirschau, Németország), amelyek folyamatosan mérték az istállón belül a száraz léghőmérsékletet és a relatív páratartalmat. A mérési gyakoriságot óránkénti adatrögzítésre állítottam be, vagyis a műszerek minden 60. percben mértek. Az adatrögzítőket 2022. áprilisában helyeztem ki az istállóba és 2022. augusztus végén töltöttem le az adatokat. A termelési adatok elemzéséhez a teljes vizsgálati időszak értékeit, míg az egyedi testhőmérséklet, aktivitás adatok elemzéséhez a mérési periódusok alatti hőmérséklet értékeket vettem figyelembe. A mért időjárás adatokból hőmérséklet-páratartalom indexet (temperature-humidity index, THI) számítottam a következő képlet szerint:

$$THI = (0,8 \times T) + (RH/100) \times (T - 14,4) + 46,4$$

ahol, a T a száraz léghőmérsékletet (°C), a RH a relatív páratartalmat (%) jelenti (*Mader et al., 2006*).

A hőstressz határértékét hazai vizsgálatok alapján 68 THI-ban határoztam meg *Reiczigel et al.*, (2009) korábbi kutatási eredményei alapján.

A levegő sebességét az istállókban (**8-9. ábra**) a vizsgálati időszak alatt egyszer mértük, egy olyan napon, amikor nem volt természetes légmozgás, és az új ventilátorok maximális sebességgel működtek. A légsebesség mérésére egy Testo 480 típusú digitális hőmérséklet-, páratartalom- és légáramlásmérő műszert használtunk (Testo SE & Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Németország).



8-9. ábra A légsebesség alakulása a kísérleti és kontroll istállóban

3.2.2.2. Az állatok testhőmérséklete

Az állatok testhőmérsékletét üres, hatóanyag mentes CIDR applikátorba (Zoetis Co., Parsippany, NJ, USA) erősített intravaginálisan elhelyezett iButton (Maxim Integrated Products Inc., San Jose, CA, USA) hőmérséklet adatgyűjtővel mértem (**7-8. kép**). Az adatgyűjtőket a mintavételi periódusok kezdetén helyeztem be, és 5 napig maradtak az állatokban. A testhőmérsékleti adatokat 30 perces mérési intervallumokban rögzítette.



7-8. kép: Az iButton hőmérők és CIDR-ek összeszerelés előtt és után *Fotó: Jurkovich Viktor*

3.2.2.3. Fekvési viselkedés

Az iButton behelyezésének időpontjában szenzorokat (HOBO Pendant G Logger, Onset Computer Corp., Bourne, USA) (**9. kép**) helyeztem az állatok lábára, amelyek tejhasznú borjakban alkalmasnak bizonyultak a hőstressz viselkedési hatásainak számszerűsítésére (*Kovács et al.*, 2018a). Az eszköz 3 tengelyen (x, y, z) méri a gyorsulást és a dőlésszöget, így alkalmas az álló és a fekvő testhelyzet elkülönítésére. Az eszközt az állatok bal hátsó lábára helyeztem a lábközép külső oldalára, alá pamut vattát tettem, és Copoly pólyával rögzítettem. A mintavételezést 30 másodperces időközre állítottam (*Bonk et al.*, 2013). Az eszköz a felhelyezéstől 3 napig volt az állatok lábán (**10. kép**). A harmadik napon az eszközt eltávolítottam, az adatokat letöltöttem, és meghatároztam a fekvéssel töltött időt az x tengelyen mért gyorsulás értékeket figyelembe véve. A szakirodalomban validált módszer alapján kimondhatjuk, hogy az állat feküdt, ha az x tengelyen mért dőlésszög érték $<0,65^\circ$. A testhőmérsékletet és a fekvési viselkedést az eszközök felhelyezését követő naptól kezdődően három napon keresztül, az ötödik nap reggeléig mértük. Így három teljes napra (0–24 óra) vonatkozó mérési adatok álltak rendelkezésre.



9. kép: HOBO Pendant G adatgyűjtő

<https://www.onsetcomp.com>



10. kép: HOBO Pendant G adatgyűjtő az állat lábára erősítve Fotó: Szalai Szilvia

3.2.2.4. Takarmányfelvétel, kérődzés, tejtermelési adatok

A telepírányítási rendszerből kinyert adatok alapján elemeztük az állatok napi tejtermelését, valamint a kérődzéssel és takarmányfelvétellel töltött időt is (AfiCollar; Afimilk., Afikim, Israel) májustól augusztusig, körülbelül a laktáció 80. napjától a 180. napjáig.

3.2.2.5. Biológiai minták

A csoportmagba sorolt állatokból az **2. táblázat**ban látható időpontokban a déli fejes után minden állatból vérmintát vettem farokvénából (v. caudalis) vákuumos vérvételi csövekbe (Vacuette,

Greiner Bio-One, Kremsmünster, Ausztria). A vérvételt követően a mintákat hűtőtáskába helyeztem, majd a laboratóriumba szállítottam további feldolgozásra. Az RNS tartósítóval ellátott csövek -20 °C-on tárolódtak a későbbi génexpressziós vizsgálatokig.

3.2.2.6. Génexpresszió és a gyulladásos markerek vizsgálata

A génexpressziós vizsgálatokhoz a vérmintákból a teljes RNS kivonása Tempus Spin RNA Isolation Kittel történt (Applied Biosystems, USA) a gyártó utasítása szerint, a mintákat DNase-zal lettek kezelve, hogy az esetleges genomikus DNS szennyeződés eliminálódjon (Quiagen, catalog number: 79256). A mintákban az RNS koncentrációja NanoDrop ND-1000 Spectrophotometerrel került mérésre (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). A tisztított RNS mintákat további felhasználásig RNase mentes csövekben -70°C-on tároltuk. A minták minősége 1,2%-os agaróz gélen történő gélelektroforézissel ellenőriztük. Az RNS cDNS átírásához, az ABI high capacity cDNA RT Kit (Applied Biosystems, Catalog number: 4368814) került használatra, követve a gyártó utasításait. Mintánként 300 ng teljes RNS átírása. A reverse transcriptase reakcióhoz a master mix összeállítása jégen történt, degradáció elkerülése érdekében. A gyártó utasításainak megfelelően egy 2X mix készült, majd 10 µl Rnase mentes vízben felvett 300 ng templát RNS-t adtunk hozzá (**3. táblázat**).

3.táblázat: A master mix összeállítása

Komponensek	Mennyiség reakciónként (µl)
10 x RT puffer	2
25 X dNTP mix (100mM)	0,8
10 X RT random primer	2
MultiScribe TM reverz transzkriptáz	1
Rnaz inhibitor	1
nukleáz mentes víz	3,2
Összesen reakciónként	10

Ezt követően a cDNS minták 10-szeres hígítása következett, majd a hígított mintából 5 µl-t került minden egyes qPCR reakcióhoz (7,5ng kiindulási RNS mennyiség/reakció). A hígított cDNS mintákat 20 µl-es allikvótokban -20C-on tárolódtak a mérésekig. Egy allikvót maximum egy alkalommal került felolvasztásra.

A qPCR hez Power Up Sybr green master mixet (Applied Biosystems, Catalog number: A25741) alkalmaztuk, standard PCR programot követve (**4. táblázat**).

4.táblázat: A standard PCR program jellemzői

Lépés	hőmérséklet	időtartam	ciklusok
UDG aktiválás	50°C	2 perc	Hold
Dual-Lock™ DNA polimeráz	95°C	2 perc	Hold
denaturáció	95°C	15 másodperc	40
feltapadás/új szálak szintézise	60°C	1 perc	

Melting analízis is történt minden esetben (**5. táblázat**), továbbá a kérdéses gének relatív expressziós szintjének meghatározása az alábbi primerekkel (**6. táblázat**) és qPCR protokoll felhasználásával.

5. táblázat: A melting analízis jellemzői

lépés	Ramp rate	Hőmérséklet	idő
1	1.6°C/másodperc	95°C	15 másodperc
2	1.6°C/ másodperc	60°C	1 perc
3	0.15°C/ másodperc	95°C	15 másodperc

6. táblázat: A kvantitatív PCR-hez használt primerek szekvenciái

Gén	Forward primer (5'-3')	Reverse primer (5'-3')
HPRT1	TGCTGAGGATTTGGAGAAGG	CAACAGGTCGGCAAAGAAGT
HSF1	CCAGCAACAGAAAGTCGTCA	GGGGGATCTTTCTCTTCACC
HSP90	GGAGGATCACTTGGCTGTC	GGGATTAGCTCCTCGCAGTT
HSP90AA1	GCATTCTCAGTTCATTGGCTATCC	GTCCTTCTTCTCTTCCTCTCTTC
HSPD1	ACTGGCTCCTCATCTCACTC	TGTTCAATAATCACTGTCTTCC
IL8	AGAACTTCGATGCCAATGCAT	GGGTTTAGGCAGACCTCGTTT
IR	AGGAGCTGGAGGAGTCCTCGTTCA	CATTCCCCACGTCACCAAGGGCTC
PRL	GAACCTCAGGCCCATCCCT	TCCGGATTCTCCAGCTTCTC

Nyolc célgén expresszióját vizsgáltuk: hősokkfehérjék (HSP90, HSP90AA1, HSPD1), a hősokkfaktor 1 (HSF1), interleukin-8 (IL8), inzulinreceptor (IR), prolaktin (PRL), valamint referenciagénként a hipoxantin-foszforibozil-transzferáz 1 (HPRT1).

A levett vérmintákból a haptoglobin koncentrációját a kereskedelmi forgalomban kapható szarvasmarha Hp-teszt kittel határoztuk meg (P801; Tridelta Development Ltd., Maynooth, Írország), a gyártó iránymutatásainak megfelelően. A kit szilárd fázisú ELISA-tesztet alkalmaz, mely tisztított anti-szarvasmarha Hp ellenanyagot tartalmaz a szilárd fázisú megkötéshez és torna-peroxidázzal konjugált anti-szarvasmarha Hp ellenanyagot a kimutatáshoz.

3.2.3. Statisztikai elemzés

A hipotézisvizsgálat célja a kísérleti (korszerűsített hűtés) és kontroll (hagyományos hűtés) csoport között tapasztalt különbségek összehasonlítása az idő (itt: termelési nap/hét) valamint egyéb befolyásoló tényezők (pl. környezeti hőmérséklet, mintavétel ideje) figyelembevételével. A hőstresszre adott válaszok és magyarázó változók közötti összefüggések értékelésére lineáris vegyes modellek illesztettünk. A modellekben fix hatásként szerepeltek: a csoport (kísérleti vs. kontroll), a termelési nap/hét, a külső hőmérséklet, a mintavétel időpontja, a napszak, valamint ezek kétváltozós interakciói. Random (véletlen) hatásként pedig az állatok azonosítója (fülszám) mint „egyedi” hatás került bevonásra. A modellek általános egyenlete a következőképpen írható le: **A vizsgált élettani változó várható értéke (átlaga) = A csoport hatása * Egyéb tényezők hatása + Egyedi hatás + Véletlen hiba**

7. táblázat: Modellekben alkalmazott cél-és magyarázó változók

Célváltozók	Prediktorok	Kontroll változók
száraz lég hőmérséklet	csoport	mintavételi időszak, napszak
hőmérséklet-páratartalom index	csoport	mintavételi időszak, napszak
vaginális hőmérséklet	csoport	mintavételi időszak, napszak
fekvéssel töltött idő naponta	csoport	mintavételi időszak
evéssel töltött idő naponta	csoport	laktációs hét, napi átlagos THI
kérődzéssel töltött idő naponta	csoport	laktációs hét, napi átlagos THI
napi tejtermelés	csoport	laktációs hét, hőmérséklet-páratartalom index

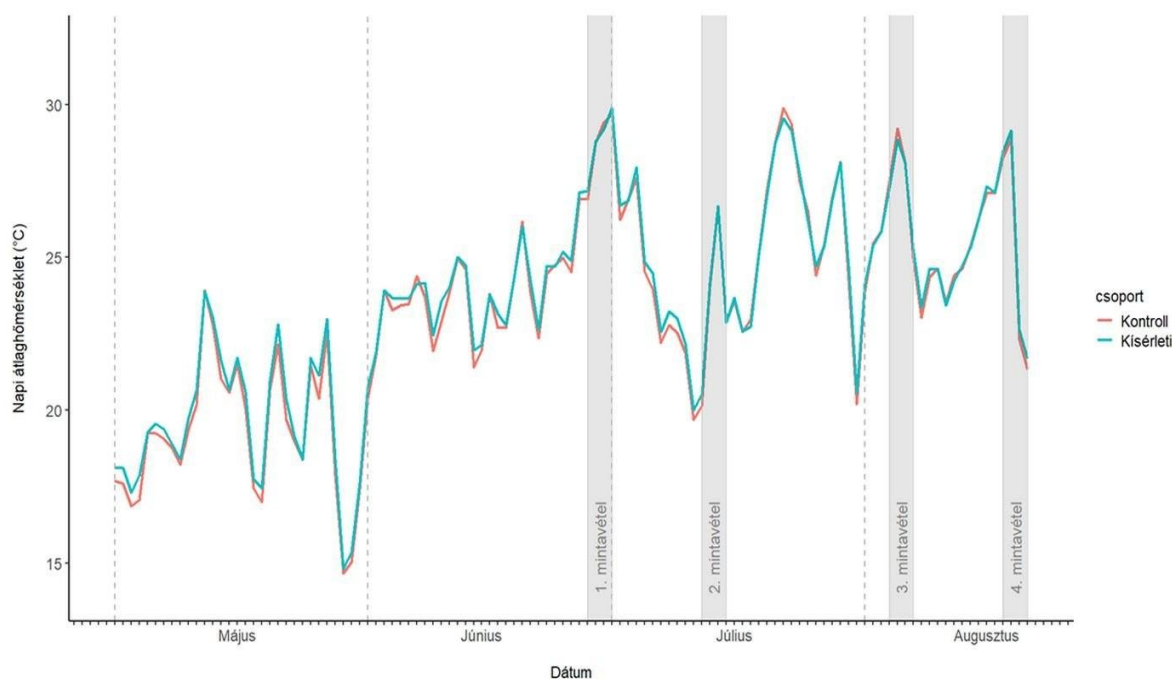
A modell kiválasztás az Akaike-információs kritérium (AIC) értékének nagyságán alapult, elsősorban a nem szignifikáns tényezők fokozatos elhagyásával. A csoportok közötti utólagos összehasonlításokat a Bonferroni-Holm módszerrel korrigált p-értékek alapján végeztük. A szignifikanciaszintet $p < 0,05$ -ben határoztuk meg a szakirodalomban elfogadott értékek alapján. A modellek illeszkedését diagnosztikai ábrák segítségével ellenőriztük; egyik esetben sem volt szükség transzformációra az alkalmazhatósági feltételek teljesüléséhez. Az adatok vizualizálása és a hipotézisvizsgálatok az R 4.4.1 verziójú szoftverrel történtek (R Core Team, 2024). Az elemzés során az alábbi csomagokat használtuk: 'Rmisc', 'ggplot2', 'lmer', 'emmeans', valamint az alapszintű (base) csomagokat. A válaszváltozók és a független/magyarázó változók összefoglalását a 7. táblázat tartalmazza.

A génexpressziós szinteket a Pfaffl-módszerrel számítottuk (Pfaffl, 2001), a HPRT1 gént referenciaként használva. A statisztikai elemzéseket SPSS 26.0 szoftverrel végeztük; a csoportok közötti összehasonlítást független mintás t-próbával vagy Mann–Whitney U-próbával végeztük a normalitás (Shapiro–Wilk-teszt) és a varianciahomogenitás (Levene-teszt) függvényében.

3.2.4. Eredmények

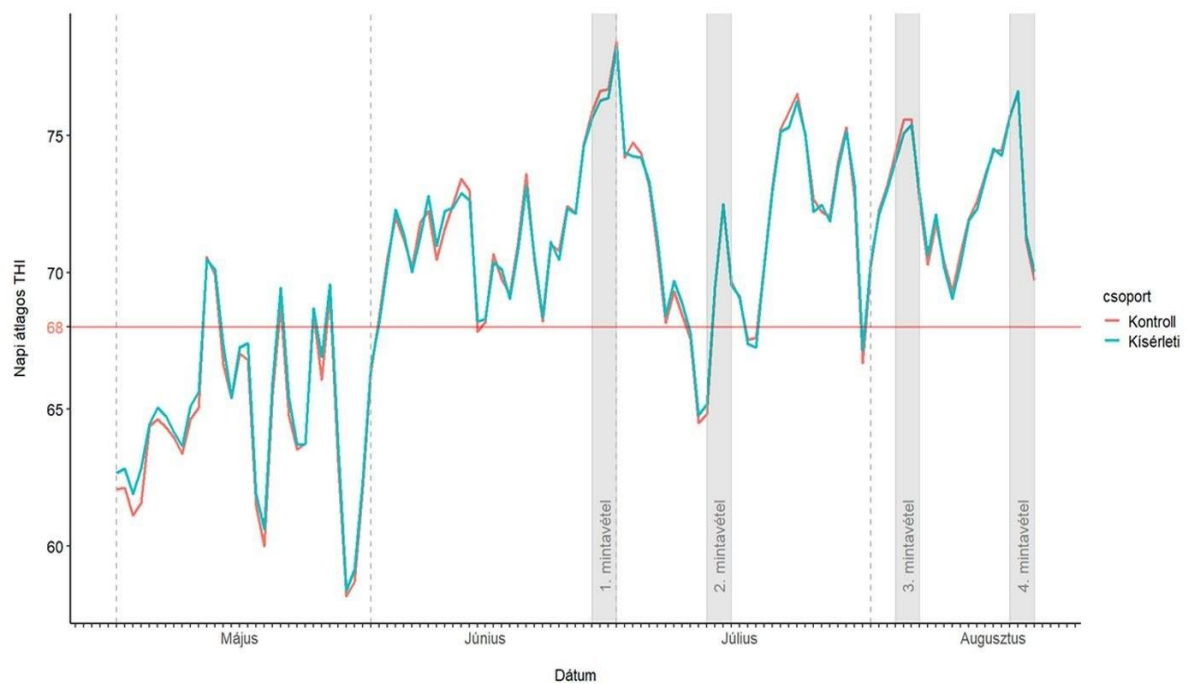
3.2.4.1. Az istálló mikroklímája és légsebesség

Az istállókban kihelyezett időjárási adatgyűjtők által mért adatok alapján kielemezett napi átlagos környezeti hőmérsékletet és hőmérséklet-páratartalom indexet (THI) mutatja az **10. és 11. ábra** a teljes vizsgálati időszak (május-augusztus) alatt. A napi átlagos THI érték a nyári napok többségén meghaladta a hőstressz-küszöbértéket (THI=68). A két istálló között nem volt szignifikáns különbség sem hőmérsékletben, ($p = 0,804$), sem a THI értékek ($p = 0,858$) tekintetében. A mintavételi napokon mért átlagos hőmérséklet és THI értékeket külön is ábrázoltuk (1-2. sz. melléklet).



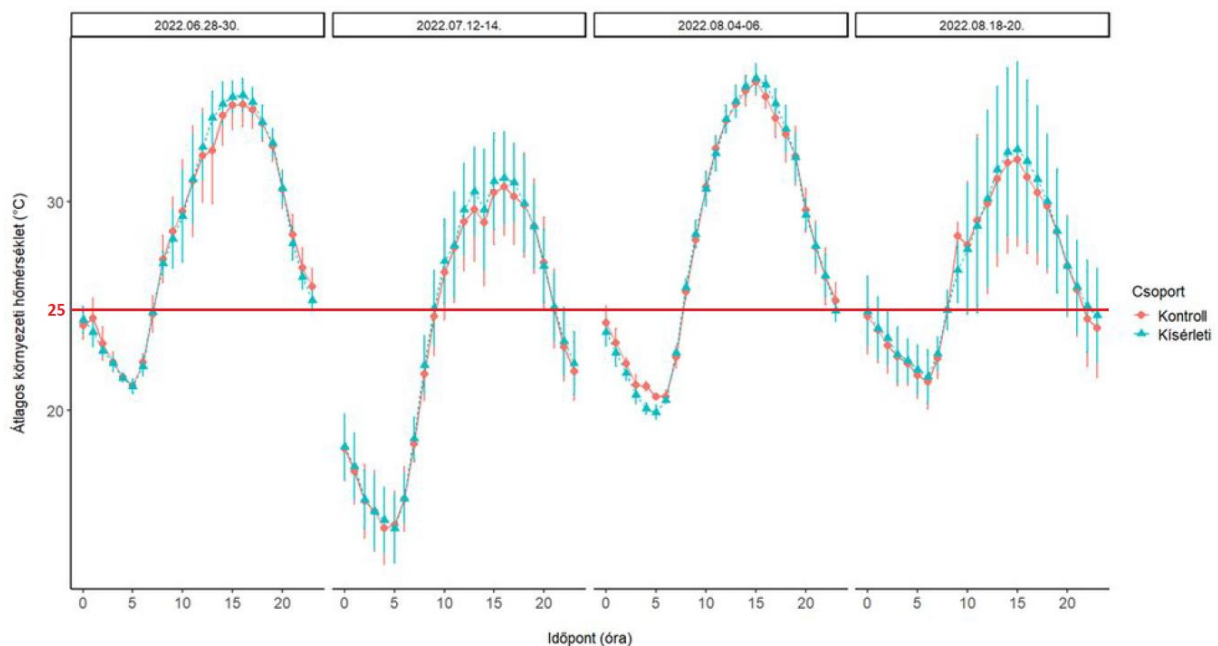
10. ábra: A két istálló napi átlagos környezeti hőmérséklete a kísérlet ideje alatt ($p=0,804$)

A napi átlagos hőmérséklet a két istállóban júniustól – egy - két rövidebb időszakot leszámítva – meghaladta a 20 °C-ot, akár a napi átlag 30 °C magasságába is emelkedett. A napi átlagos THI érték június és augusztus között néhány napot leszámítva meghaladta a 68-as hőstressz határértéket.



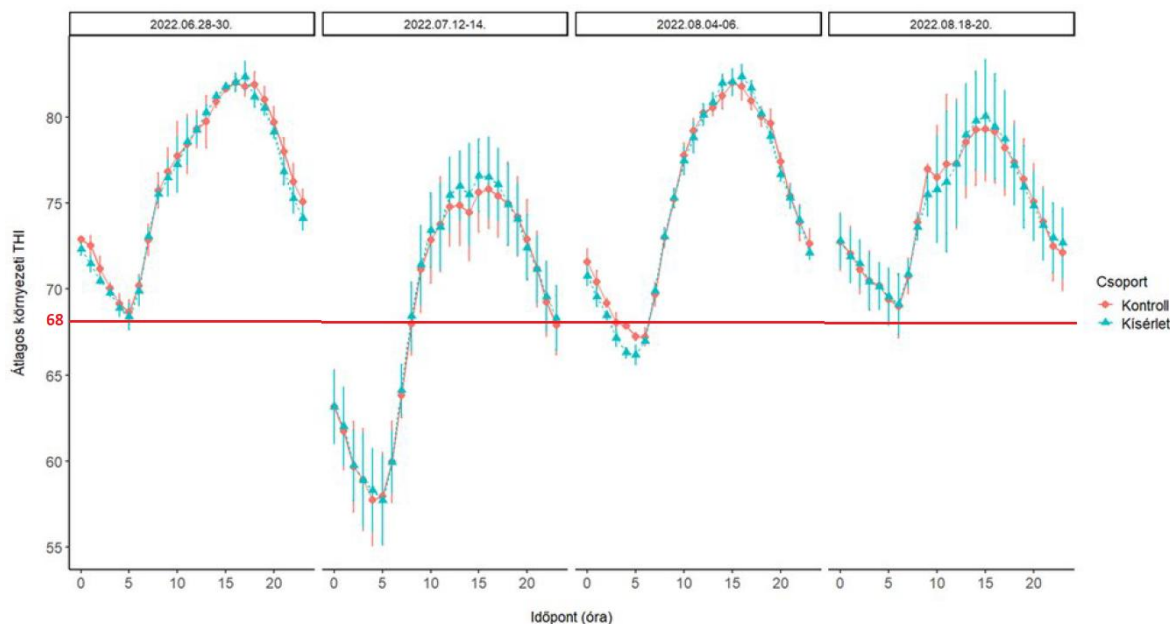
11. ábra: A két istálló napi átlagos THI értékei a kísérlet alatt ($p=0,858$)

A hőmérséklet és a THI is igen magas volt az ábrákon szürkével jelzett mintavételi időszakokban. A kísérleti és kontroll istállóban egy tipikus nyári hőterhelt napon ahogy várható volt, a legalacsonyabb hőmérséklet és THI értékeket hajnalban, 3-5 óra között lehetett mérni, ezután fokozatosan növekedett a hőterhelés, délután 3 óra körül elérve a maximumot (3-4. sz. melléklet).



12. ábra: A négy mintavételi periódus átlagos környezeti hőmérséklete éjféltől éjfélig ($p<0,05$)

Mind a négy alkalommal 20 °C feletti átlag hőmérsékletet és 68 feletti THI értéket mértem. A négy alkalomból háromban a hőmérséklet napi átlaga meghaladta a 25 °C-ot, ami a hőségriadó határértéke a humán orvosi meteorológiában (**12. ábra**).



13. ábra: A négy mintavételi periódus átlagos THI értékei éjféltől éjfélig ($p > 0,05$)

A mintavételi időszakokra (a négy periódus összesen 12 napja) számolt átlagos THI értékek napközbeni változása látszik éjféltől éjfélig. A második mintavételi periódus során hűvösebb idő volt, ezért jelentős csökkenés figyelhető meg a napi hőmérséklet átlagokban, ami a hőterhelést a hőstressz szint alá csökkentette, de napközben hőstressznek voltak kitéve az állatok ebben az időszakban is (**13. ábra**).

A légsebesség a kontroll istállóban 0,2–0,8 m/s, míg a kísérleti istállóban 1,5–2,8 m/s között változott, melyet sematikus térképen is ábrázoltam. Az istállók területén egyenletesen elosztott 12 mérési pont alapján a számított átlagos légsebesség a kontroll istállóban $0,32 \pm 0,27$ m/s, míg a kísérleti istállóban $2,3 \pm 0,46$ m/s volt ($p < 0,001$).

3.2.4.2. A testhőmérséklet változása

Az állatok hüvelyben mért testhőmérséklete szintén jellegzetes napi ritmust mutat (**8. táblázat**) a három napos mintavételi periódusban mind a négy alkalommal, és jól korrelál az istállóban mért hőmérséklettel és THI értékkel, ugyanis hasonló mintázatot követ a reggeli mélyponttal és délutáni csúcsponttal. A hőstressz hatása az állatokon is érezhető volt, a 39,2 °C fölötti vaginális hőmérséklet hőstressz állapotot jelez. Az átlagos testhőmérséklet a nap túlnyomó részében emelkedett

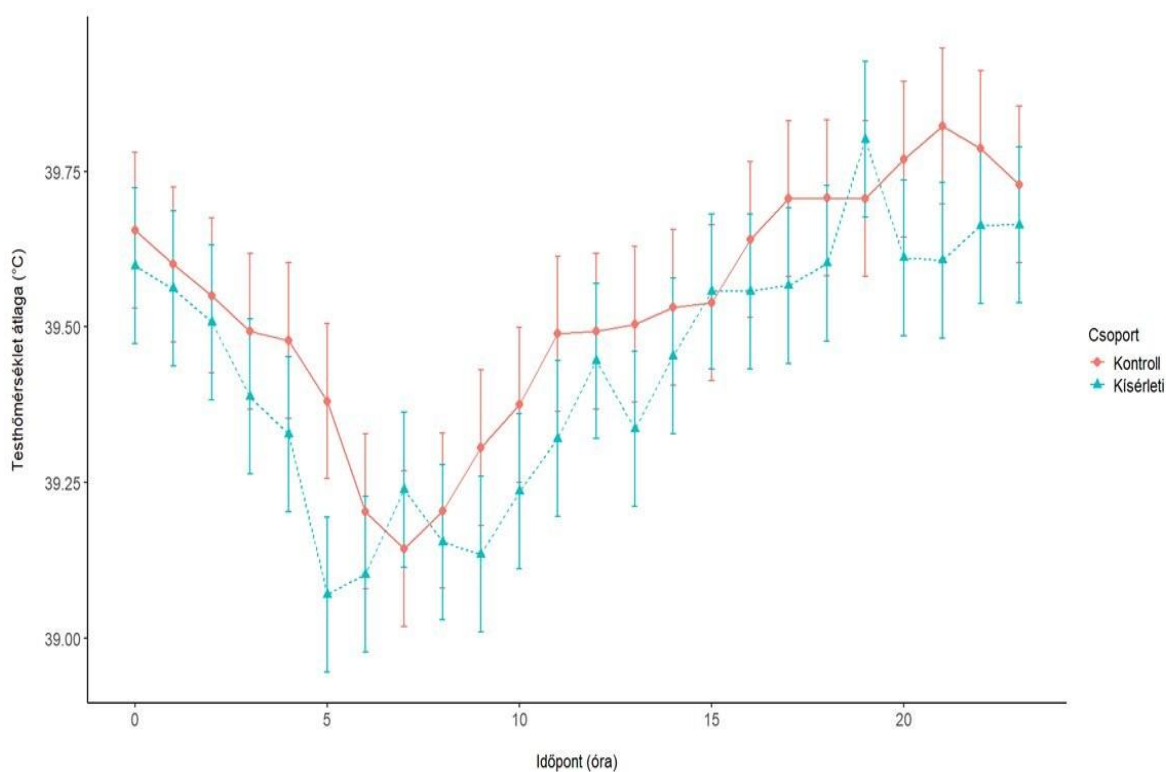
volt, vagyis az állatok éjjel sem tudtak megfelelően lehűlni. Ebben az adatsorban nincs különbség a két csoport között, feltehetően a 2. periódus hatása miatt.

8. táblázat Az átlagos testhőmérséklet a mintavételi periódusban a kontroll és kísérleti csoportban

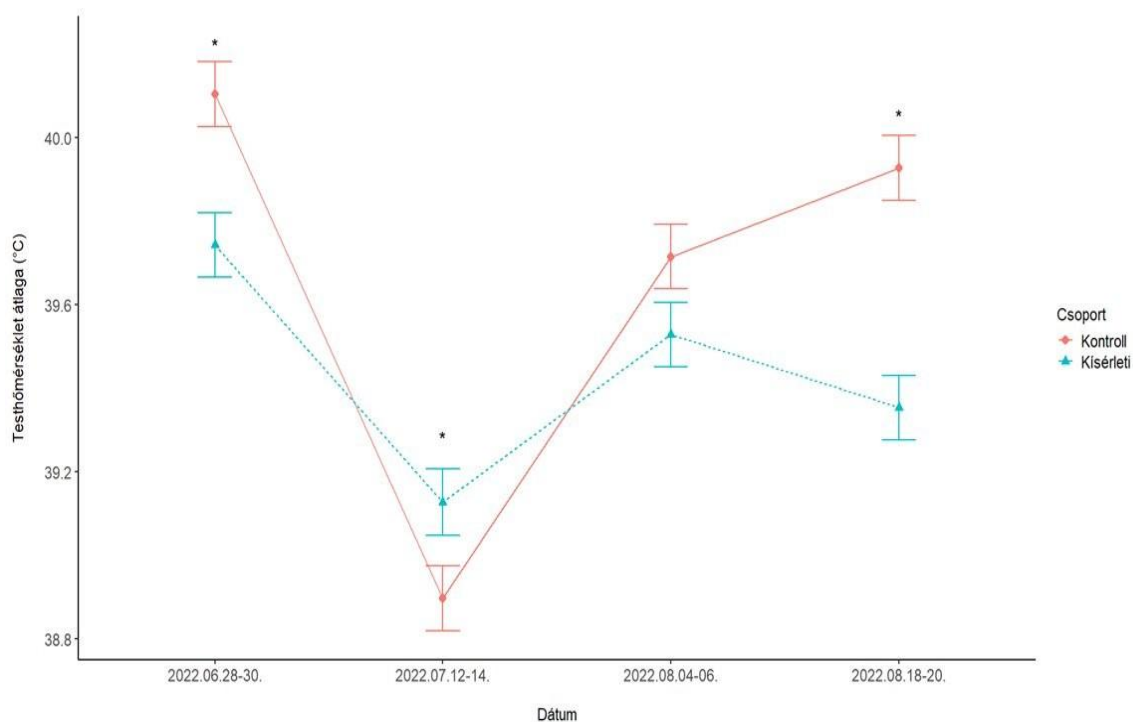
Mintavételi időszak	Kontroll (°C)	Kísérleti (°C)	SEM	Eltérés (°C)	Eltérés SEM	p-érték
Június 28-30	40.1	39.7	0.08	0.4	0.11	0.0020
Július 12-14	38.9	39.1	0.08	-0.2	0.11	0.0376
Augusztus 4-6	39.7	39.5	0.08	0.2	0.11	0.0908
Augusztus 18-20	39.9	39.4	0.08	0.5	0.11	>0.0001

A kísérleti és a kontroll csoportok óránkénti összehasonlításai azt mutatták, hogy a legnagyobb hőterheléssel rendelkező mintavételi periódusokban a kísérleti csoport átlagos testhőmérséklete a nap nagy részében alacsonyabb volt, mint a kontroll csoporté.

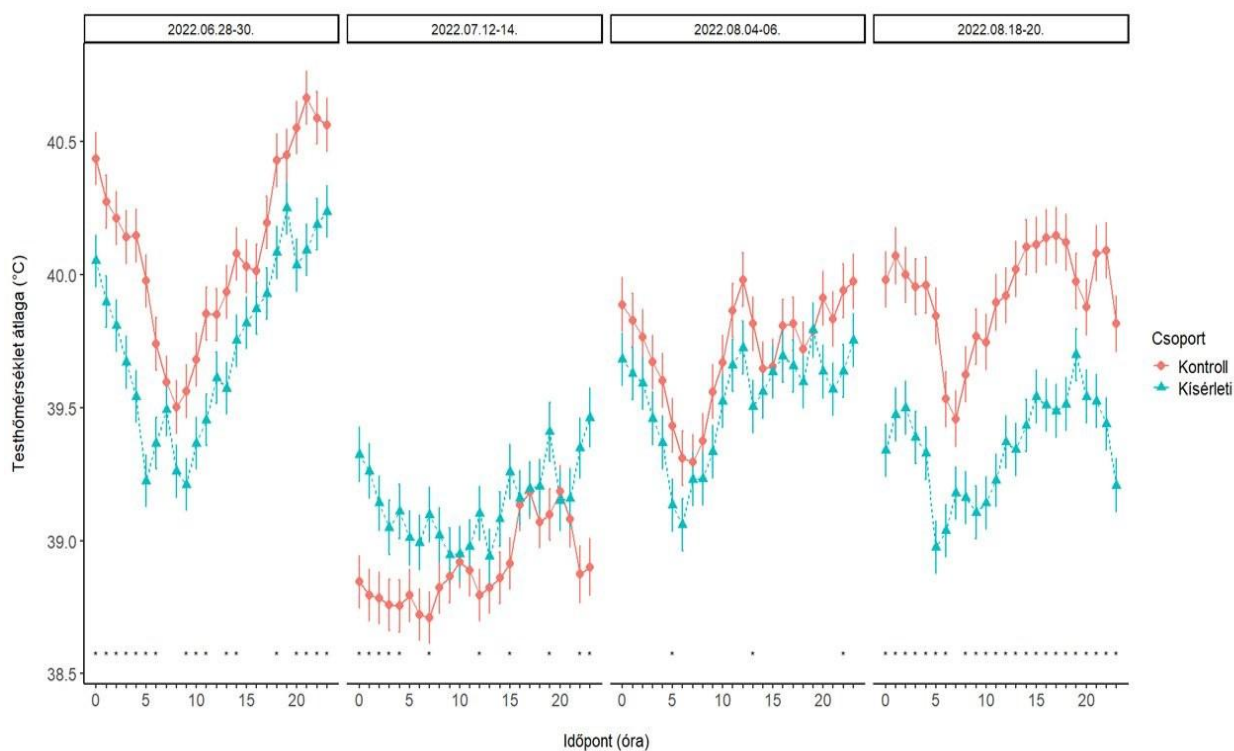
A **14. ábrán** jól látszik, hogy a meleg mintavételi periódusokban az állatok átlagos testhőmérséklete jóval meghaladja a hőstressz határértéket, akár 41,5 °C-os maximum testhőmérséklettel. A második periódus kissé hűvösebb volt, de még így is meleg (**15. ábra**), így az állatok testhőmérséklete is alacsonyabb volt ebben az időszakban.



14. ábra: A vizsgált állatok testhőmérsékletének napi ritmusa az összes vizsgálati periódus átlagában ($p > 0,05$)



15. ábra: Az állatok átlagos napi testhőmérséklete a vizsgálati periódusokban ($p < 0,05$)

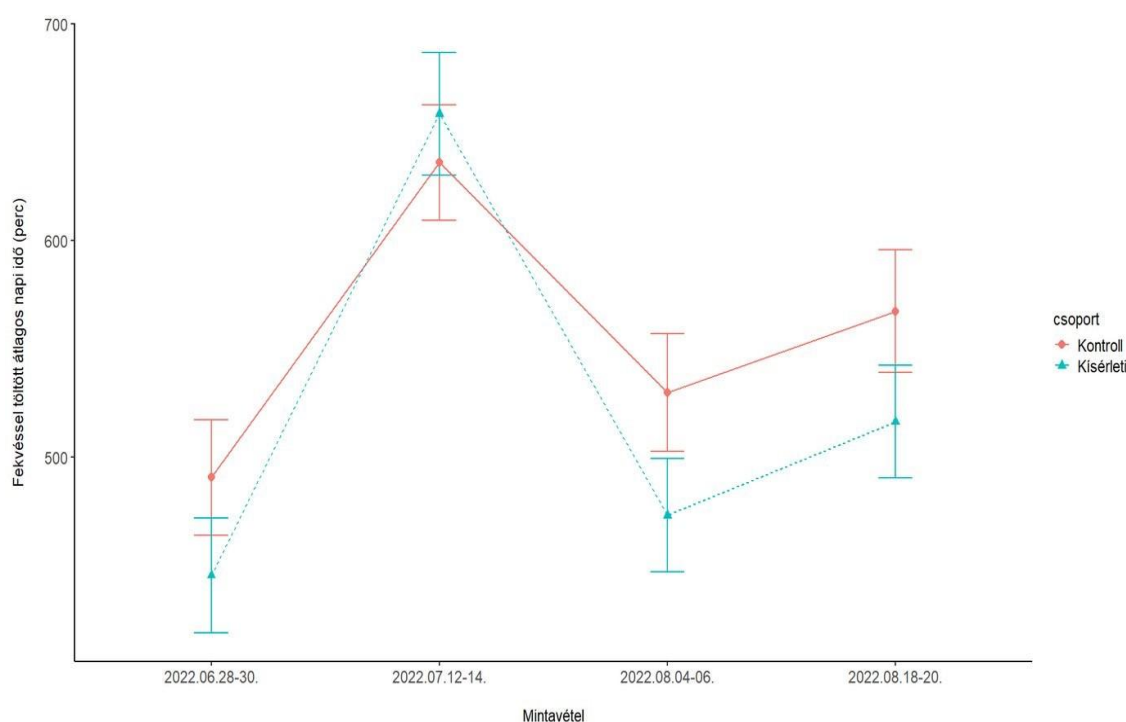


16. Ábra: Az állatok átlagos testhőmérsékletének napi ritmusa a vizsgálati periódusokban A szignifikáns eltéréseket ($p < 0,05$) a csoportok között a csillagok jelölik.

A hőség idején (1., 3. és 4. periódus) az új ventilátorok magasabb légsebesség miatti extra hűtő hatása jól megmutatkozott, a kísérleti csoportban az átlagos testhőmérséklet értékek alacsonyabbak. Ezek az állatok is szenvedtek a hőstressztől, de a testhőmérséklet a kontroll csoport állataival ellentétben csak az extrém meleg első periódusban érte el a 40 °C-ot, de ebben az esetben is alacsonyabb, mint a kontroll csoportban (**16. ábra**).

3.2.4.3. Fekvési viselkedés változása

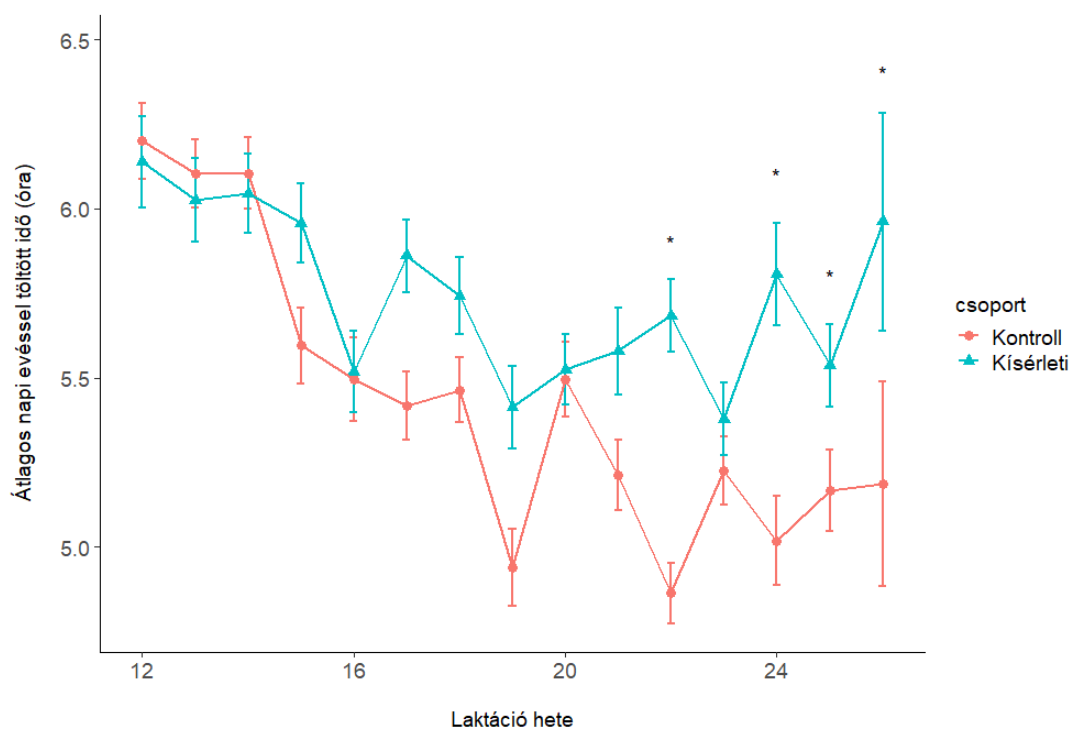
Korábbi megállapítások és szakirodalmi adatok alapján a tejlő szarvasmarhák fekvéssel töltött ideje elfogadható, 10-11 óra naponta. A tehenek etológiai igénye napi 10-12 óra pihenés. A hőmérséklet emelkedésével az állatok kevesebb időt töltenek pihenéssel, ami megfigyelhető a **17. ábrán** is. A második mintavételi periódus, amely egy kicsit hűvösebb volt a többi alkalomhoz képest, a fekvési idő megközelítette a kívánt értéket. A többi időszakban látszódik a hőstressz hatása, az állatok kevesebb időt töltöttek fekvéssel. A legalacsonyabb értékek az első periódusban voltak megfigyelhetőek, ekkor volt a legmelegebb. Érdekes módon a két csoport között nem volt szignifikáns különbség ($p=0,301$).



17. ábra: A tehenek fekvéssel töltött ideje az egyes mintavételi periódusokban ($p=0,301$)

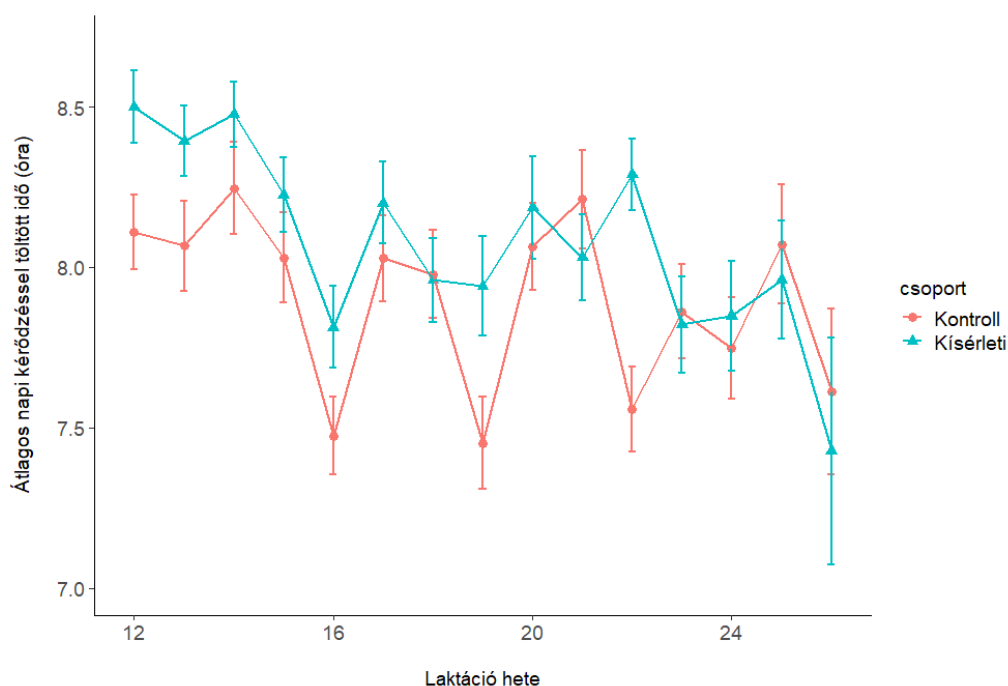
3.2.4.4. Kérődzési idő és a takarmányfelvétel gyakorisága

A tehenek legelői környezetben napi 7-13 órát töltenek a táplálék megkeresésével és elfogyasztásával, a legelő minőségétől függően (Kilgour, 2012). Intenzív tartásban a táplálékot nem kell megkeresni, hiszen az állatok azt napi több adagban teljes takarmánykeverék formájában megkapják. Az evéssel töltött idő így intenzív tartásban a fenti értéknél kevesebb, ám még így is eléri a 4,5 órát (2,5-8,5; Beauchemin, 2018). A vizsgált állatok esetében az evéssel töltött idő 4,5 és 6,5 óra/nap között volt a kísérlet idején. A két csoport között szignifikáns különbség ($p < 0,001$) volt a laktáció kb. 21. hetétől (18. ábra). Az evéssel töltött idő a tejtermeléssel volt összefüggésben elsősorban.



18. ábra: A napi átlagos evéssel töltött idő a laktáció 12. és 26. hete között. A szignifikáns eltéréseket a csoportok között a csillagok jelölik ($p < 0,001$).

Legelői környezetben a tehenek 4,5-10,5 órát töltenek kérődzéssel egy nap (Kilgour, 2012). Az intenzív tartás takarmányozási technológiája hatással van a kérődzési időre, elsősorban a takarmányadag rost arányán keresztül, de az egészséges kérődzési idő így is napi 7 óra (2,5-10,5; Beauchemin, 2018).

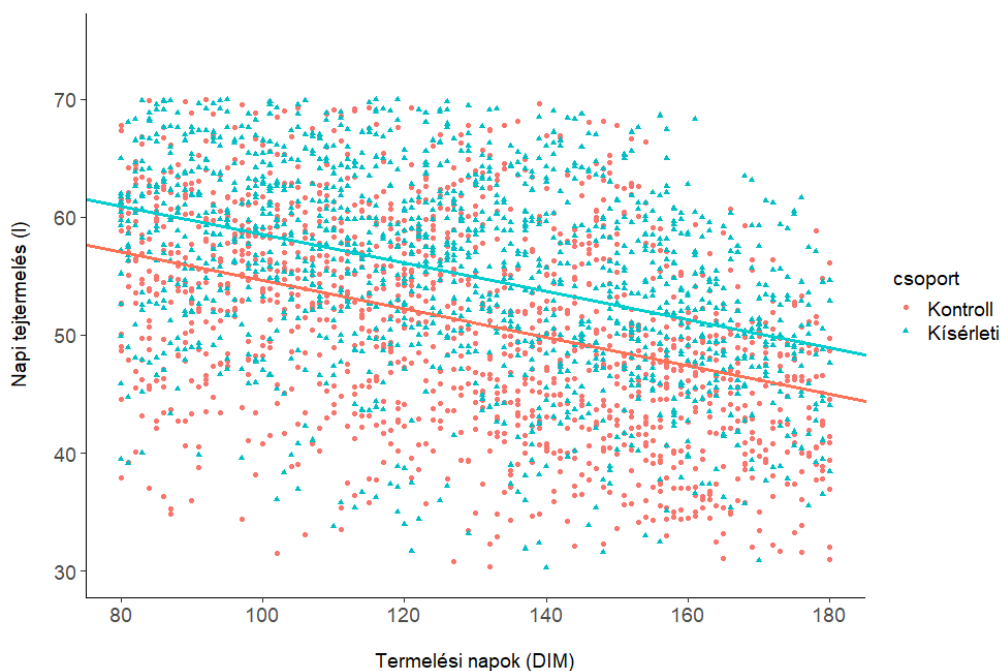


19. ábra: Az átlagos kérődzéssel töltött idő a laktáció 12. és 26. hete között ($p=0,439$)

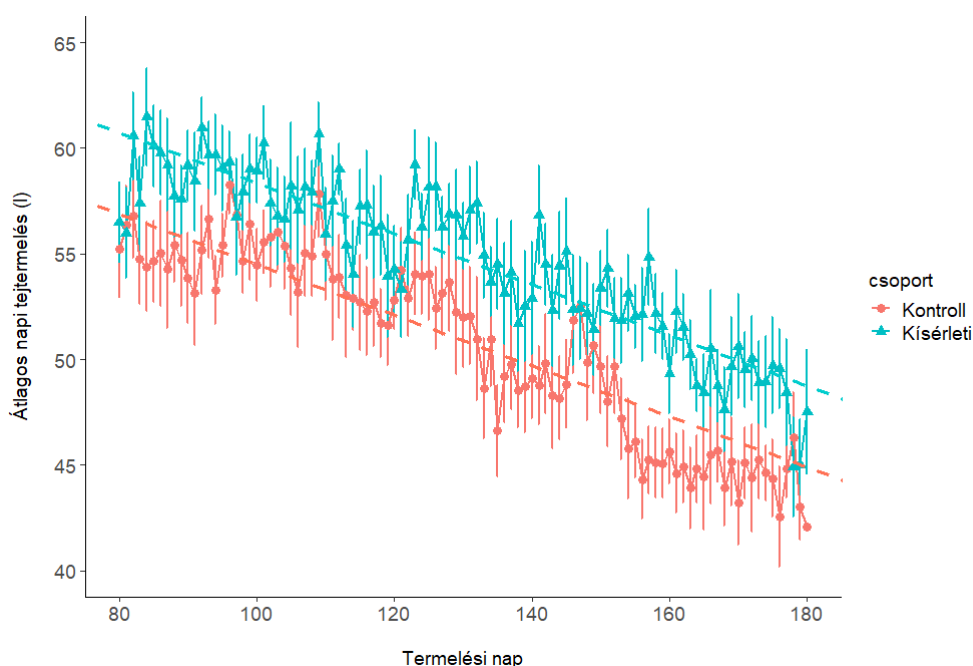
A vizsgált tehenek kérődzési ideje az intenzív tartásban elfogadható normál érték tartományába esett, az átlagos napi 8 óra kiváló. A kérődzéssel töltött idő némileg csökkent a laktáció előrehaladtával, de a két csoport között nem volt lényeges különbség ($p=0,439$) (19. ábra), azonban meg kell jegyezni, hogy a kísérleti csoport több időt töltött takarmányfelvétellel.

3.2.4.5. A tejtermelés alakulása

A tejhozam csökkenés a hőstressz legismertebb hatása, mely jelentős gazdasági veszteséget okoz a tejtermelő gazdaságoknak. A magasabb tejtermelésű tehenek érzékenyebben reagálnak a hőstressz kihívásaira, hiszen nagyobb metabolikus hőtermelésük mellett nehezebben tudják fenntartani a hőegyensúlyt (Tao et al., 2020). Korábbi kutatások alapján a laktáció közepén járó tehenek tejtermelését befolyásolta legnagyobb mértékben a hőstressz, hiszen ekkor a legmagasabb a tejtermelésük, majd ezt követték a késői és korai laktációs tehenek (Perera et al., 1986; Tao et al., 2018). A csoportba soroláskor és a laktáció elején az állatok tejtermelése nem különbözött, ezért az adatok nincsenek ábrázolva. Elemzést és grafikonokat a laktáció 80. napjától készítettem, amikor a vizsgált állatok már biztosan a kísérleti és a kontroll csoportban voltak. Mindkét alábbi ábrán (20-21. ábra) jól látszik a kísérleti csoport magasabb tejtermelése. A két csoport közötti mintegy napi átlag 3 liter ($3,82 \pm 1,78$) különbség minden időpontban statisztikailag szignifikáns ($p=0,0390$). Az átlagos napi tejtermelés laktációs hetekre vonatkozóan is elemzésre került (5. sz. melléklet).



20. ábra: A tejtermelési nyers adatok és az adatokra illesztett modellből becsült átlagos tejtermelést ábrázoló egyenesek

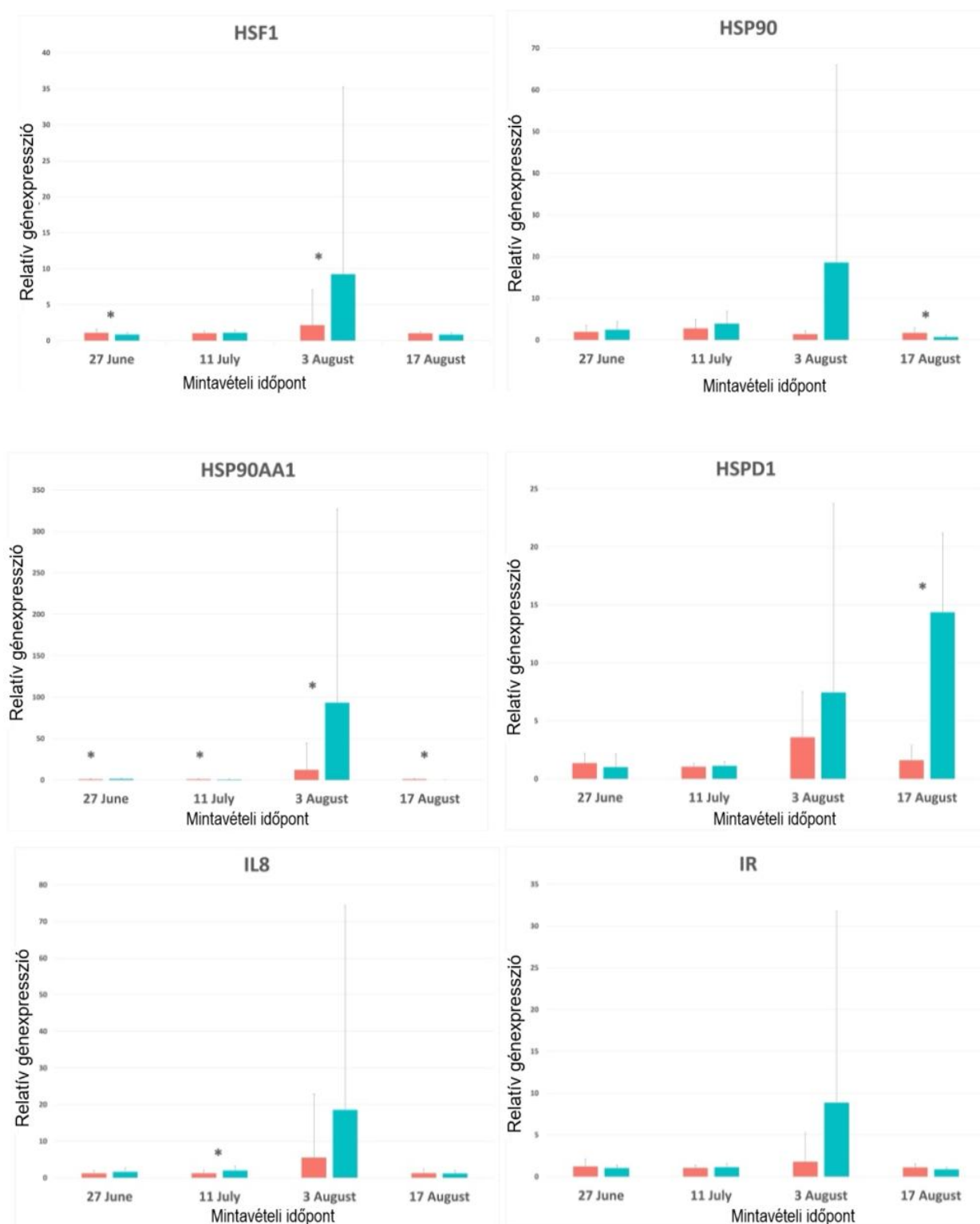


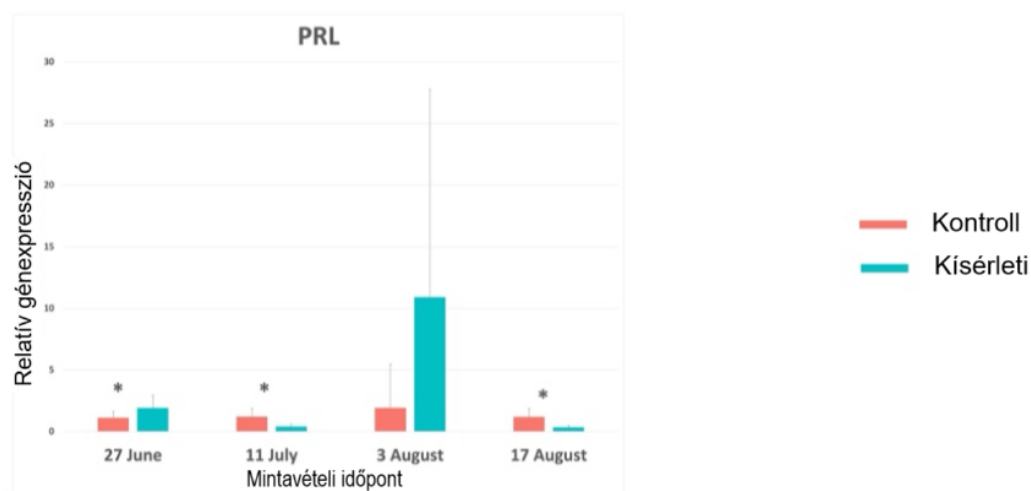
21. ábra: A vizsgált tehenek átlagos napi tejtermelése a laktáció 80.-180. napja között. A két csoport között minden időpontban szignifikáns különbség mutatkozott ($p=0,039$).

A kísérleti csoport tejtermelése szignifikánsan magasabb volt végig a vizsgált időszak alatt. Ez részben magyarázható azzal, hogy a kísérleti csoport tehenei több időt töltöttek evéssel, több takarmányt vettek fel. Az evési időben jelentkező különbség csak a laktáció 20. hete után volt megfigyelhető. A magasabb tejtermelés másik magyarázata lehet, hogy a jobb hűtés következtében mérhető alacsonyabb testhőmérséklet miatt a hőstressz biológiai költsége (a kompenzáció energiaigénye) kisebb, így több energia maradt tejtermelésre.

3.2.4.6. Génexpressziós vizsgálatok eredményei

A génexpresszió-elemzés szignifikáns különbségeket tárt fel a kísérleti és a kontroll csoport között több, hőstresszel összefüggő gén esetében (22. ábra).





22. ábra A vizsgált gén relatív expressziója a kontroll és a kísérleti csoportban a mintavételi időszakok során. A * szimbólum $p < 0,05$ szignifikanciaszintet jelöl.

A génexpressziós vizsgálat molekuláris szintű bizonyítékot nyújt a kísérleti csoportban megfigyelt kedvező élettani hatások alátámasztására, és egyben összetett időbeli mintázatokat tárt fel, amelyek a fokozott szellőztetés sejtszintű, dinamikus válaszreakcióit tükrözik. Az expressziós mintázatok a mintavételi időpontok között szignifikáns eltéréseket mutattak, ami arra utal, hogy a molekuláris válaszreakciók időhöz kötötten aktiválódnak, nem pedig egységes vagy állandó változásokat idéz elő.

A hősokkfehérjék fontos szerepet töltenek be az emlős szervezetekben, a hőstresszre adott sejtválaszt a transzkripció szintjén szabályozzák a megfelelő gének, melyek biztosítják a stressz által denaturált fehérjék feltekeredését, kibontását és újra tekeredését (Archana et al., 2017).

Kísérletünkben a hősokkfehérjék expressziós mintázata a mintavételi időszakok során időbeli változást mutatott.

A HSF1 expressziója a kísérleti csoportban három mintavételi időszakban (kivéve augusztus 3.) alacsonyabb volt, szignifikáns különbség június 27-én és augusztus 3-án volt megfigyelhető ($p < 0,05$). Ez a mintázat arra utal, hogy a fokozott légsebesség csökkentette a hőstresszre adott sejtszintű válasz fő szabályozójának aktivációját, ami összhangban áll azzal, hogy a HSF1 a hőstresszre adott válasz egyik legkorábbi aktivátora, és több hősokkfehérje transzkripcióját indítja el (Sigdel et al., 2019).

A HSP90 expressziója a legtöbb időpontban magasabb volt a kísérleti csoportban, kivéve augusztus 17-ét, amikor az érték szignifikánsan alacsonyabb értéket mutatott ($p < 0,05$). Ez arra utalhat, hogy a fokozott ventiláció kezdetben fenntartotta a HSP90 magasabb szintjét – feltehetően védelmi céllal –, de a legmelegebb periódusban képes volt gátolni annak túlzott, stressz által kiváltott aktivációját. Fang et al. (2021) a HSP90AA1 túlműködéséről számolt be hőstressz

körülmények között szarvasmarhákban. Expressziója fenntartja a sejtek túlélését azáltal, hogy gátolja a sejt apoptózist és növeli a sejt autofágiát. Azok a tehenek, amelyek több HSP90AA1 génexpressziót aktiválnak jobban megbirkóznak a hőstresszel, így hőtűrőbbek társaiknál (*Hu et al.*, 2024). A HSP90AA1 gén expressziója mind a négy mintavételi időpontban szignifikáns különbséget mutatott ($p < 0,05$); a kísérleti csoport három esetben (június 27., július 11., augusztus 17.) alacsonyabb, míg augusztus 3-án magasabb expressziót mutatott a kísérleti csoportban.

Mivel a hősokkfehérjék szerepe a fehérjék denaturáció elleni védelme és a sejtek homeosztázisának fenntartása hőstressz esetén (*Badri et al.*, 2018), az expressziós mintázat változékonysága arra utal, hogy a javított ventiláció rugalmasabb stresszválaszt tesz lehetővé, elkerülve a krónikus aktivációt.

A HSPD1 gén kódolja a HSP60 fehérjét, amely a gyulladásos válasz kiváltásán keresztül fontos szerepet játszik az immunválaszban, immunszabályzóként és biomarkerként működik (*Lebret et al.*, 2003). Számos újonnan szintetizált fehérjének segít abban, hogy elérje eredeti formáját és lehetővé teszi a denaturált fehérjék megfelelő feltekeredését stressz körülmények között (*Singh et al.*, 2018). A HSPD1 expressziója júniusban és júliusban alacsonyabb volt a kísérleti csoportban, míg augusztusban mindkét időpontban magasabb értéket mutatott, utóbbiak közül augusztus 17-én szignifikáns különbséggel ($p < 0,05$). Ez az időbeli eltolódás szezonális adaptációra vagy a környezeti stresszhatások időbeni változására utalhat.

A gyulladásos válaszreakciók a kísérleti csoportban jellemzően emelkedett mintázatot mutattak. Az IL8 (interleukin-8) expressziója minden mintavételi időpontban magasabb volt a kísérleti csoportban, és július 11-én szignifikáns különbséget is mutatott ($p < 0,05$). Ez az eredmény ellentmondani látszik annak az elvárásnak, hogy a csökkent stresszhez alacsonyabb gyulladásos marker szintek társulnak. Ugyanakkor az IL8 emelkedése nem feltétlenül jelez kóros gyulladást, hanem tükrözheti az immunmegfigyelő funkció fokozódását is, mivel a hőstressz általában csökkenti az immunválaszt (*Das et al.*, 2016). A javított istállóklíma hozzájárulhatott az immunrendszer hatékonyabb működéséhez, ami kedvező lehet az állatok általános egészségi állapotára nézve.

Az anyagcsere-szabályozók génexpressziója összetett adaptációs mintázatokat mutatott. A prolaktin (PRL) expressziója három mintavételi időpontban (június 27., július 11. és augusztus 17.) mutatott szignifikáns különbséget ($p < 0,05$): a kísérleti csoportban június 27-én és augusztus 3-án magasabb, míg július 11-én és augusztus 17-én alacsonyabb szintet mértünk. Ez a változékonyság expressziós mintázat arra utalhat, hogy a javított hűtési körülmények hozzájárulnak a prolaktin környezeti tényezőkhöz igazodó szabályozásához, ami különböző hőstressz-periódusokban támogathatja a tejtermelés élettanát (*Hernández-Cordero et al.*, 2017).

Az inzulinreceptor (IR) expressziója nem mutatott szignifikáns különbséget a két csoport között, azonban a megfigyelhető tendenciák a kísérleti csoportban kedvezőbb anyagcsere-stabilitást jeleznek.

A molekuláris eredmények azt mutatják, hogy a fokozott ventiláció nem egységes stresszcsökkentést idéz elő, hanem dinamikus sejtszintű válaszokat generál. A génexpressziós mintázatok időbeli változékonysága arra utal, hogy a javított környezeti feltételek rugalmasabb és adaptívabb molekuláris válaszokat tesznek lehetővé a változó stresszhatásokkal szemben. Ahelyett, hogy minden stresszhez kapcsolódó gén expresszióját egységesen csökkentené, a fokozott légsebesség a sejtes homeosztázis optimalizálását támogatja: lehetővé teszi a megfelelő válaszreakciók aktiválását szükség esetén, miközben gátolja a krónikus stresszválasz kialakulását. Ez az értelmezés összhangban áll a kísérleti csoportban megfigyelt kedvezőbb élettani és termelési paraméterekkel, és arra utal, hogy a molekuláris változások fokozott adaptációs képességet tükröznek a változó környezeti feltételek mellett.

9. táblázat: A haptoglobin koncentráció alakulása az egyes mintavételek idején

Csoport/mintavétel	06.27.	07.11.	08.03.	08.17.
Kísérleti (G/L)	0,28 ± 0,22	0,54 ± 0,38	0,73 ± 0,68	0,85 ± 0,38
Kontroll (G/L)	0,32 ± 0,40	0,68 ± 0,92	0,94 ± 0,77	1,0 ± 0,56

A haptoglobin (Hp) egy akut fázis fehérje (acute phase proteins, APPs), amely széleskörben elfogadott a szisztémás gyulladás biomarkereként. A Hp normál esetben nincs vagy nagyon alacsony koncentrációban van jelen egészséges tehénben, azonban szövetkárosodás, gyulladás, bakteriális fertőzés vagy stressz esetén koncentrációjuk megemelkedik a véráramban (*Bannikov et al.*, 2011). Kísérletünkben a nyár előrehaladtával mindkét csoportban emelkedett a haptoglobin koncentráció. Az első mintavételkor még az élettani érték (0,2-0,3 G/L) körül volt mindkét csoportban, később a kontroll csoportban nagyobb mértékben emelkedett, mint a kísérleti csoportban (**9. táblázat**). Az egészséges állatokban a szérum haptoglobin szintje nagyon alacsony, gyakran a kimutatási határérték alatti.

3.2.5. Megbeszélés

A vizsgálatunk eredményei egyértelműen rámutatnak arra, hogy a nyári időszakban az állatok tartós hőstressznek voltak kitéve. A napi átlagos hőmérséklet és a hőmérséklet-páratartalom index (THI) értékek jelentősen meghaladták a hőstressz-küszöböt ($THI \geq 68$), és a legtöbb mintavételi

periódusban jelentős mértékű hőterhelésnek voltak kitéve. A kontroll- és kísérleti istállóban nem volt különbség a mikroklimatikus alapadatokban (hőmérséklet, THI), ugyanakkor a légsebesség jelentősen magasabb volt a kísérleti istállóban az újonnan beépített ventilációs rendszer hatására. A megnövelt légsebesség pozitív hatása egyértelműen megmutatkozott mind élettani mind molekuláris szinten. A konvektív hőveszteség fokozásával az emelt légsebességű ventilátorok biztosították a kísérleti istállóban a hőkomfort javulását, amely alacsonyabb vaginális testhőmérsékletben, megnövekedett takarmányfelvételben és magasabb tejhozamban nyilvánult meg. Ezek az élettani változások molekuláris szinten is alátámasztást nyertek, ugyanis a génexpressziós mintázatok összetett, időfüggő változásokat mutattak, melyek azt jelzik, hogy a fokozott szellőzés nem egységes stresszcsökkentést, hanem dinamikus, adaptív sejtválaszokat tesz lehetővé a környezeti stresszhatásokra.

A vizsgált hőstresszre reagáló gének expressziós változásai (például a hősokk faktor, HSF1 csökkent expressziója, a HSP90 általában emelkedett szintje, a HSP90AA1 vegyes mintázatai, a HSPD1 időszakosan változó kifejeződése), továbbá a folyamatosan emelkedett gyulladásos marker, az IL8, valamint a változó jellegű anyagcsere-szabályozók (pl. a prolaktin időszakosan jelentős eltérései) arra utalnak, hogy a fokozott szellőzés a sejtek rugalmas válaszmechanizmusait támogatja a környezeti stresszorokra, nem pedig egyszerűen elnyomja a stresszválaszokat. Az elemzés nem mutatott szignifikáns eltérést a két csoport között, ami arra utal, hogy a telepen alkalmazott takarmányozás-és tartástechnológia magas színvonalú így a kísérlet során fennálló hőstressz súlyos zavarokat nem okozott. A hősokkfehérjék és gyulladásos markerek génexpressziója ugyan mutatott változást az extrém hőhatásokra, azonban ezek a reakciók a sejtvédelem és adaptáció természetes elemeiként értelmezhetők.

A hőstressz negatív hatásai a tejelő teheneknél mind viselkedési, mind élettani szinten kimutathatók, azonban hatékony istálló és tehénhűtési módszerekkel mérsékelhető. A megnövelt légsebesség javította a hőkomfortot, elősegítette a testhőmérséklet szabályozását, és hozzájárult a jobb takarmányfelvételhez és tejtermeléshez. Tekintettel a globális hőmérséklet emelkedésére és az állattenyésztésre gyakorolt várható kedvezőtlen hatásokra, az ilyen jellegű istállóklíma-módosítások – mint a légsebesség növelése – költséghatékony és fenntartható stratégiát kínálnak a hőstressz kezelésére. Az eredményeink alátámasztják, hogy a hűtési technológiák alkalmazása nemcsak állatjóléti, hanem gazdasági szempontból is indokolt a nyári időszakban a tejelő szarvasmarha állományok esetében, biztosítva a termelés és az állatjólét fenntartását a változó éghajlati viszonyok között.

3.3. A hőstressz hatása a kérődzésre, bendőhőmérsékletre és aktivitásra az ellés körüli időszakban egészséges és tranzíciós betegségekkel küzdő teheneknél

3.3.1. A vizsgálat jelentősége

A szárazon álló tehenek gyakran kikerülnek a menedzsment fókuszából, azonban fontos megemlíteni, hogy ebben az időszakban is számos hatás érheti mind az anyát mind a magzatot, ami negatív hatással lehet különböző paraméterekre pl. születési súly, elléslefolyás, tejtermelésbe lendülés, tranzíciós betegségek kialakulásának kockázata stb., melyek jelentősen befolyásolják az állatok élettartamát és a tejtermelés jövedelmezőségét (*LeBlanc.*, 2010). Az egészségügyi rendellenességek túlnyomó többsége az ellést követő első 30 nap során jelentkezik elsősorban az endokrin rendszer változásai, valamint a negatív energiamérleg következtében, mely immunsuppresszióval párosul (*Hammon et al.*, 2006; *Tufarelli et al.*, 2024). A kérődzés az egyik fő fiziológiás tevékenység a szarvasmarhák esetében, így az egyik legfontosabb indikátora az állatjóllétnek (*Moretti et al.*, 2017). A precíziós eszközök, mint például a bendőbe helyezhető bóluszok vagy a nyakra rögzíthető érzékelők alkalmazása lehetőséget biztosít a betegségek előrejelzésére, így támogatva az állomány egészségi állapotának fenntartását. A kérődzési idő monitorozása hatékony eszköz ellés körüli időszakban különösen a laktáció első hetében, ugyanis könnyen kiszűrhetőek azok a tehenek, amelyeknél nagyobb a betegség kialakulásának kockázata a laktáció korai szakaszában. A tranzíciós időszak sikeressége nagyban meghatározza a tehenek produktivitását, így kiemelt figyelmet kell biztosítani számukra. Az ellést követő első 10 laktációs napban végzett kérődzés monitorozás alapján korán fel lehet ismerni azokat a teheneket, amelyeknél nagyobb valószínűséggel alakulnak ki egészségügyi problémák a laktáció első hónapja alatt (*Calamari et al.*, 2014). A kérődzés csökkenése figyelmeztető jelnek tekinthető, amely nem megfelelő takarmányfelvétel vagy egészségügyi problémák miatt alakulhat ki. *Mammi et al.* (2021) alacsonyabb ellés utáni kérődzési időt figyeltek meg nehéz elléses teheneknél, ami arra utal, hogy az ellési stressz hosszabb hatással van a napi kérődzési idő alakulására. Az ellés előtti kérődzési információk ígéretes eredményeket mutatnak az ellés utáni metritis és szubklinikai ketózis kockázatának kitett tehenek azonosításában (*Schirmann et al.*, 2013; *Cocco et al.* 2021). A kísérlet során az ellést megelőző 5 és ellést követő 14 napon keresztül vizsgáltam az állatok testhőmérsékletét, aktivitását és kérődzési idejének alakulását hőstressz időszakban egészséges és tranzíciós megbetegedésben szenvedő -csoportokban. Precíziós eszközök (nyaktranszponder, bendőbólusz) által gyűjtött adatok elemzésével összefüggéseket kerestem a betegségek előrejelezési lehetőségeire. Azt feltételeztem, hogy a hőstressz hatására megterhelőbb az ellés körüli időszak és hosszabb időbe telik az élettani paraméterek normalizálódása.

3.3.2. Anyag és módszer

3.3.2.1. Állatok és telepi menedzsment

A vizsgálat hőterhelt nyári időszakban zajlott egy Békés-vármegyei tejtermelő tehenészetben 46°35'26.945" É, 20°38'39.582" K. A telepen megközelítőleg 500 holstein-fríz tejelő tehén és szaporulata található. A kísérlethez összesen 40 klinikailag egészséges, többször ellett (átlagos laktációs szám: $3,1 \pm 1,2$; testkondíció pontszám [BCS]: $3,7 \pm 0,3$ 1-5 pont (Wildman *et al.*, 1982 alapján); előző 305 napos laktáció átlagos tejtermelése: 9197 ± 2036 kg) került bevonásra, két héttel a várható ellési időpont előtt, hőstressz időszakban (06.26.-08.16.). Az előkészítő időszak alatt az állatokat almozott elletői karámban tartották, ahol az etetőút kívül helyezkedett el. A teljes takarmánykeveréket (TMR) (6-7. sz. melléklet) naponta egyszer, reggel juttatták ki, és rendszeresen visszatolták a könnyebb hozzáférés érdekében. Az ellés jeleit óránként ellenőrizték, és csak elhúzódó vagy komplikált ellés (dystocia) esetén került sor beavatkozásra. Az állatokat az ellést követően egy órán belül fejés alá vonták. A 0–3. ellés utáni napokban (postpartum) az állatokat egy külön, frissen ellett tehenek számára kialakított, szalmával almozott istállóba helyezték, ahol naponta kétszer etették és fejték. Az állatok egészségi állapotát a telep állatorvosa naponta ellenőrizte, és a beteg állatokat a kórképnek megfelelően, a telepi protokoll szerint kezelték. Ezt követően az állatokat áthelyezték a fő, tejelő állományba, amelyet szintén szalmával almozott, kötetlen istállóban tartottak. A frissen ellett tehenek számára készült TMR-t itt is naponta kétszer kapták meg, és a fejés naponta kétszer történt. Az állatok egészségügyi és termelési állapotát a teljes tranzíciós időszak során nyomon követte a felcser és a telep állatorvosa. A vizsgálati csoportokat a tehenek peripartum egészségi állapota alapján alakítottam ki. Azok az állatok, amelyek a vizsgálat végéig (14. DIM) nem mutattak klinikai megbetegedésre utaló jeleket, az egészséges (HE; $n = 26$) csoportba kerültek. Azokat a teheneket, amelyeknél a telepi állatorvos 14 DIM-ig tőgygyulladást (masztitisz), méhgyulladást (metritisz), sántaságot vagy ketózist diagnosztizált, a beteg (DI; $n = 14$) csoportba soroltam. A vizsgálat teljes időtartama alatt az állatok számára a víz korlátlanul (ad libitum) hozzáférhető volt.

3.3.2.2. Az istálló mikroklímájának vizsgálata

Az állatok környezetében a mikroklíma jellemzésére időjárási adatgyűjtőket helyeztem el június végén (Voltcraft DL-181 THP, Conrad Electronic SE, Hirschau, Németország), amelyek az istállón belül a száraz léghőmérsékletet és a relatív páratartalmat rögzítették 30 percenként augusztus végéig (**11-12-13. kép**). Az eszközről az adatokat USB kapcsolaton keresztül

letöltöttem a számítógépre telepített saját szoftverére, ahonnan exportáltam további statisztikai elemzésre. A mért értékek alapján a hőmérséklet-páratartalom indexet (THI) az alábbi képlet segítségével számoltam ki:

$$\text{THI} = (0,8 \times T) + (\text{RH}/100) \times (T-14,4) + 46,4$$

ahol a T a száraz léghőmérsékletet (°C), az RH a relatív páratartalmat (%) jelenti (Mader et al., 2006).

A hőstressz vonatkozó köszöbértéket **68 THI**-ban határoztuk meg (Reicziegel et al., 2009).



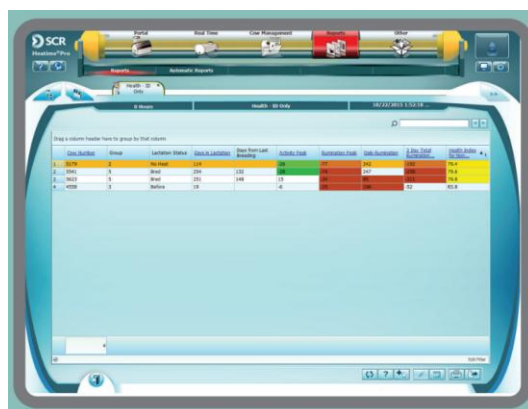
11-12-13. kép Az istálló külső és belső területe előkészítő, ellető, beteg csoportokkal

Fotó: Szalai Szilvia

3.3.2.3. Kérődzési idő és aktivitás rögzítése

A kérődzési idő értékelésére az ellést megelőző 5. naptól a laktáció 14. napjáig (DIM) került sor, egy mikrofon-alapú kérődzési és aktivitásfigyelő szenzorból nyert adatok alapján (RuminAct® HR-Tags, SCR Engineers Ltd., Netanya, Izrael) (**14. kép**), melyet validáltak tejhasznú tehenek kérődzési aktivitásának mérésére (Schirmann et al., 2009). A transzpondert minden tehen bal oldalán, a nyakára helyeztem fel. A szenzor a kérődzési időt (RT) a regurgitáció hangjának, valamint a kérődzési viselkedéshez kapcsolódó specifikus hangmintázatok és az általános mozgásintenzitás észlelése alapján azonosította a nap 24 órájában (Schirmann et al., 2009, Silper et al., 2015; Steensels et al., 2017). A szoftver meghatározása szerint a kérődzési esemény kezdete akkor történt, amikor a rendszer érzékelte a regurgitációhoz társított hangot, és ezt percben kifejezve kérődzési időként rögzítette (Schirmann et al., 2009). Az adatok két óránként egy mikrocellában tárolódtak; a 12 mikrocellás rendszer 24 órányi adat tárolását tette lehetővé. Az adattovábbítás az istállókban felszerelt BU500E antennákkal (200m x 500m) ellátott vevő egységeken (2,4 GHz) keresztül a központi számítógépre történt. A rendszer ivarzásmegfigyelésre azaz aktivitás mérésére is alkalmas, ami az eszközbe helyezett giroszkópon keresztül valósul meg. A tehen aktivitását egy 0 és 255 közötti indexértékké alakították (Steensels et al., 2017), amely az adott tehen alapaktivitásához viszonyított súlyozott szórásokat reprezentálta. A Heatime Pro

szoftver (15. kép) algoritmusok segítségével jelentéseket és grafikonokat készít egyedenként, ami alapján folyamatosan nyomonkövethető az állatok jólléte és egészségi állapota. A kísérleti időintervallumban keletkezett adatokat exportáltam táblázatos formátumban a statisztikai elemzéshez.



14-15. kép SCR Heattime HR nyaktranszponder és Heattime Pro egészségügyi modul

Forrás: https://fejestechnika.hu/sites/default/files/ht_pro_16_a4_hung_apr_16_for_web.pdf

3.3.2.4. Reticulorumen-hőmérséklet

A recés-bendő hőmérsékletének monitorozására bendő bóluszt (SmaXtec Animal Care GmbH, Graz, Ausztria) alkalmaztam, az ellést megelőző 5. naptól a laktáció 14. napjáig (DIM). A fűlszámámokkal való összeegyeztetést követően (16. kép) a bóluszokat egy speciális adagoló eszköz segítségével szájon át juttattuk az állatokba (17. kép). A mérések 10 perces időközönként történtek és a keletkezett adatokat az olvasó eszköz internetkapcsolaton keresztül azonnal továbbította a felhőbe (SmaXtec Cloud). A mért adatok különféle grafikonokon keresztül váltak megtekinthetővé a SmaXtec App alkalmazásban. A gyártó saját algoritmusával korrigált 'ívási ciklusok nélküli bendőhőmérséklet' adatokat exportáltam excel táblázatba további elemzéshez.



16-17. kép Smaxtec reticulo-rumen bólusz előkészítése és beadása *Fotó: Szalai Szilvia*

3.3.3. Statisztikai elemzés

Az adatvizualizációt és az elemzést az R statisztikai környezetben (*R Core Team*, 2024) végeztük (verziószám 4.3.2.), az alapfüggvények mellett a 'ggplot2', 'rmcorr', 'nlme', 'epitools' és 'emmeans' csomagok használatával. A nagymennyiségű napi hőmérsékleti mérésből első lépésben egy-egy napra vonatkozó összegző mutatókat számítottunk ki (napi átlag és maximum bendőhőmérséklet, környezeti hőmérséklet és THI). A kérődzési időt egy-egy napra vonatkozóan összesítettük (napi kérődzési idő). Az elemzés során ezeket a napi mutatókat használtuk fel inputként. Rögzítettük azt, ha az állatoknál az ellés utáni időszakban anyagforgalmi betegséget, sántaságot, méhgyulladást, vagy tőgygyulladást diagnosztizáltak. Az elemzések során ezeket prediktorként vettük figyelembe. Az átlagos, illetve maximum napi bendőhőmérséklet és átlagos, illetve maximum napi THI összefüggését a korrelációs együtthatóval jellemeztük. A korrelációs együttható kiszámítása az egy tehénen történt ismételt mérések figyelembevételével történt (repeated measures correlation, *Bland és Altman*, 1995a, b). A napi átlagos kérődzési időt és aktivitást csoportok között lineáris kevert hatású modellel hasonlítottuk össze. A kevert modellek a prediktorokat fix hatásként kezelik, és az ismételt mérések nem-függetlenségét úgy veszik figyelembe, hogy a kovariancia mátrixba véletlenszerű hatást (random effect) építenek be minden egyedre, ezáltal elkülönítve az egyeden belüli, egyedek közötti és mintavételi varianciát. A válaszváltozók a napi kérődzési idő és az SCH Heatime rendszer által mért nyers aktivitási egységek voltak. A fix hatások az elléshez viszonyított napok, az ellést követő egészségi állapot (egészséges vagy beteg) és az átlagos THI (kontroll változót beleértve) voltak.

Az elemzéshez a következő modellformulát használtuk:

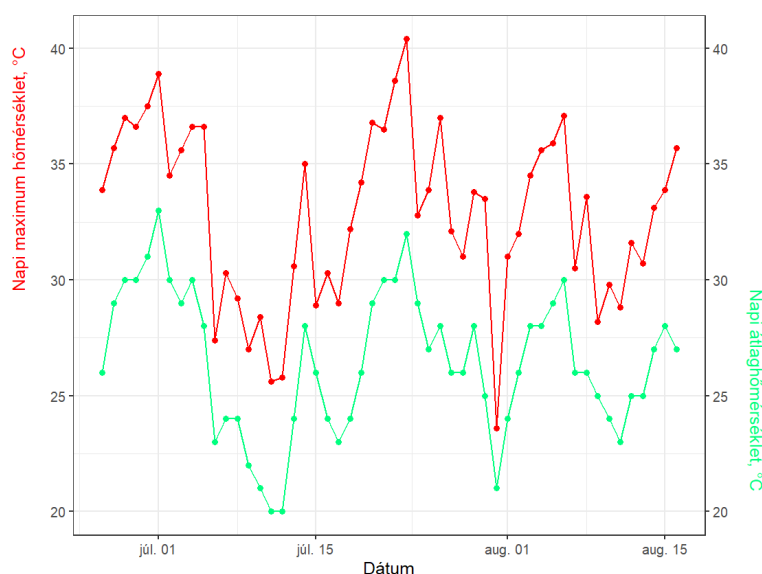
$$Y_{ijkl} = \text{intercept} + i \times \text{DIM} + j \times \text{ellést követő egészségi állapot} + k \times \text{átlagos THI} + \eta_l + \varepsilon_{ijkl}$$

ahol az intercept az Y változó legkisebb négyzetes átlagát jelenti azon a referencia szinteken, amelyek az elléstől számított napokra, az ellést követő egészségi állapotra és az átlagos THI-re vonatkoznak; az (i) az i-edik szinthez tartozó érték a elléstől számított napok függvényében bekövetkező változást jelenti az Y változóban; a (j) a j-edik szint az Y változóban bekeövetkező változás az ellés utáni egészségi állapotban (k) az Y változását az egy egységgel növekvő THI esetén; $\eta(l)$ az (l)-edik tehénhez tartozó véletlenszerű hatás az interceptben; $\varepsilon(ijkl)$ pedig a véletlenszerű mérési hiba.

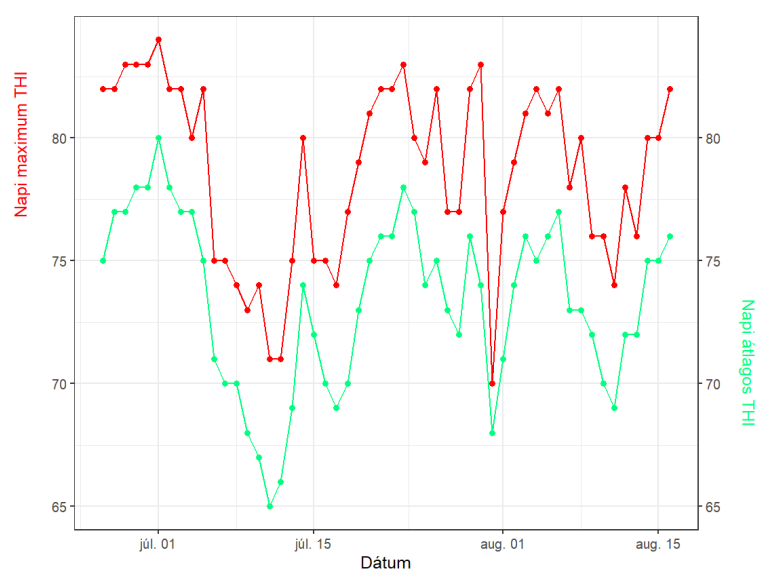
3.3.4. Eredmények

3.3.4.1. A környezeti hőmérséklet és THI alakulása a kísérleti időszakban

A napi átlagos és maximum hőmérsékleti adatokból látható, hogy az ellések túlnyomó része rendkívül hőterhelt időszakban történt (**23. ábra**). A THI-értékek alapján a vizsgálati időszak során folyamatos hőstressz volt megfigyelhető, mivel az értékek tartósan meghaladták a 68-as THI-küszöbértéket és megközelítették a 80-as csúcsértéket, miközben csupán minimális ingadozás volt tapasztalható (**24. ábra**).



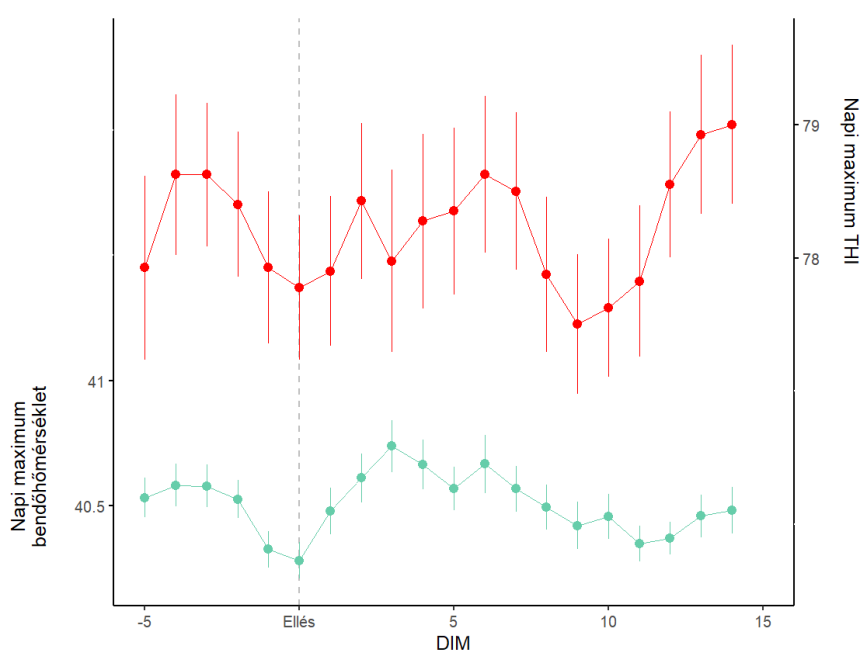
23. ábra A napi átlagos és maximum hőmérséklet alakulása



24. ábra A napi átlagos és maximum THI indexek alakulása

3.3.4.2. Az istálló mikroklíma és a bendőhőmérséklet közötti összefüggések

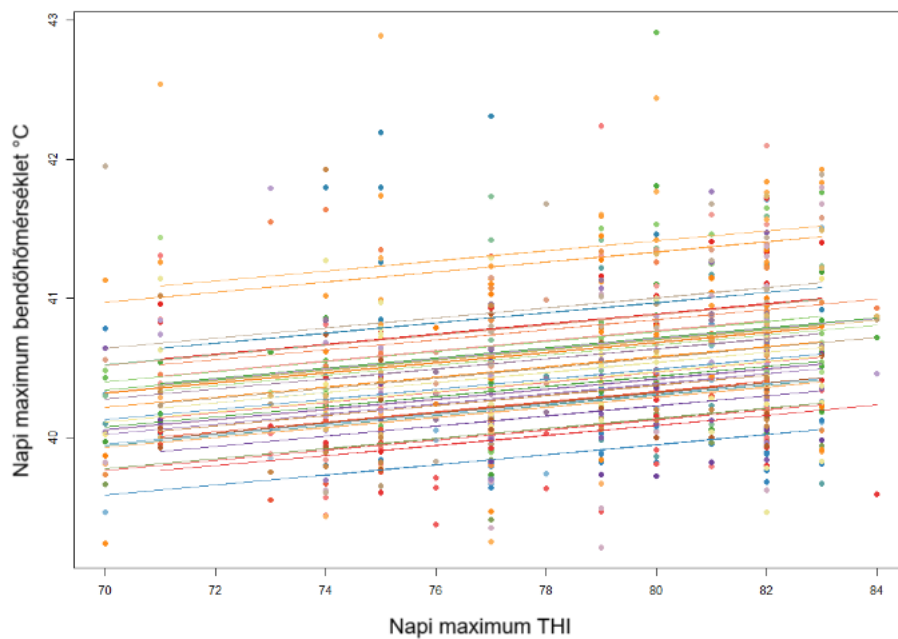
A kísérleti időszak alatt az állatok komoly hőstressznek voltak kitéve, amit a bendőhőmérsékleti- és környezeti hőmérsékleti értékek alátámasztanak. Az ellések ebben a hőterhelt intervallumban zajlottak le, ami elősegíthette az ellés körüli megbetegedések kialakulását a hőstressz jól ismert immunuszuppresszív hatása miatt. A bendőhőmérséklet 39 °C és 41 °C között mozgott, (napi átlagértékek 8. sz. melléklet), ami arra utal, hogy az állatok hőstressznek voltak kitéve. A vizsgált időszakban mindössze 2 napon volt az átlagos napi hőmérséklet 20 fok körül, illetve 3 napon volt az átlagos napi THI 68 alatt, így a hőstressz a vizsgálat teljes hossza alatt fennállt (25. ábra).



25. ábra: A kísérletben résztvevő tehenek átlagos napi maximum bendőhőmérséklete (RRT, °C) és a napi maximum hőmérséklet és páratartalom index (THI) az ellés körüli időszakban

3.3.4.3. A bendőhőmérséklet és a THI összefüggései

A napi maximális bendőhőmérséklet és a napi maximális THI közötti korrelációs együttható 0,27 volt (95%-os konfidenciaintervallum: 0,20–0,33; $p < 0,0001$). A korrelációs együtthatók alacsony mértéke alapján a bendőhőmérséklet és a hőmérséklet-páratartalom index között szignifikáns, de mérsékelt összefüggés áll fenn (26. ábra).

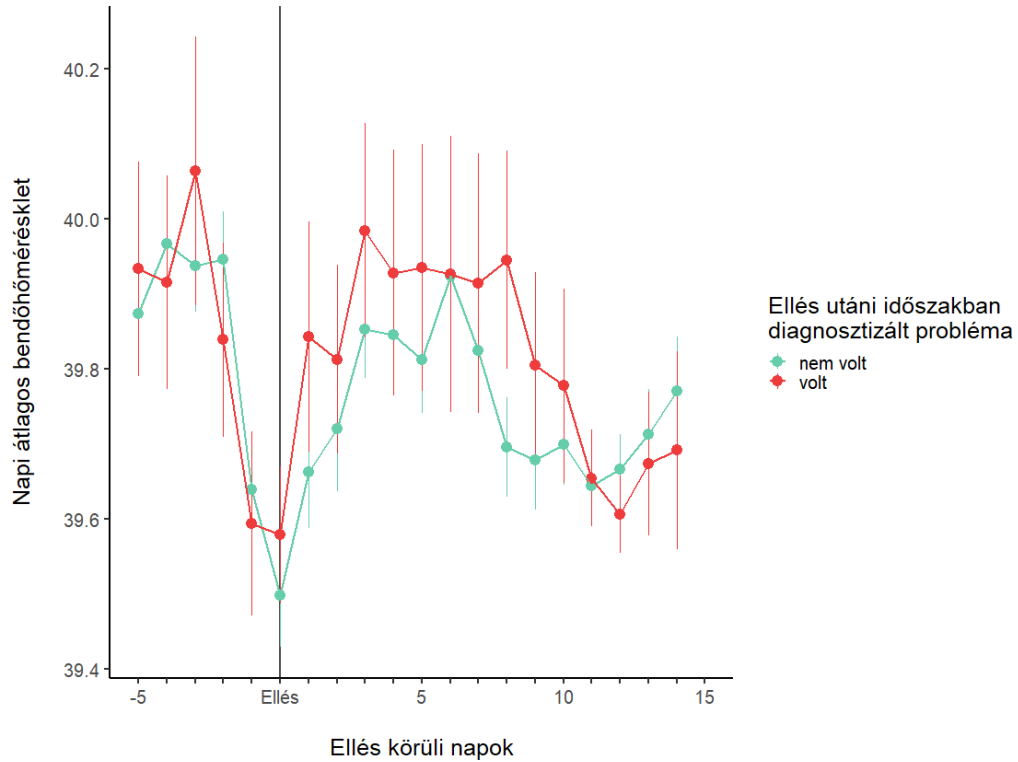


26. ábra A napi maximális bendőhőmérséklet és a THI közötti korreláció

$r=0,27$ (95% CI: 0,20;0,33, $p<0,0001$)

A színes vonalak az egyes tehenekre jellemző összefüggést ábrázolják

3.3.4.4. A bendőhőmérséklet alakulása az ellés körüli időszakban

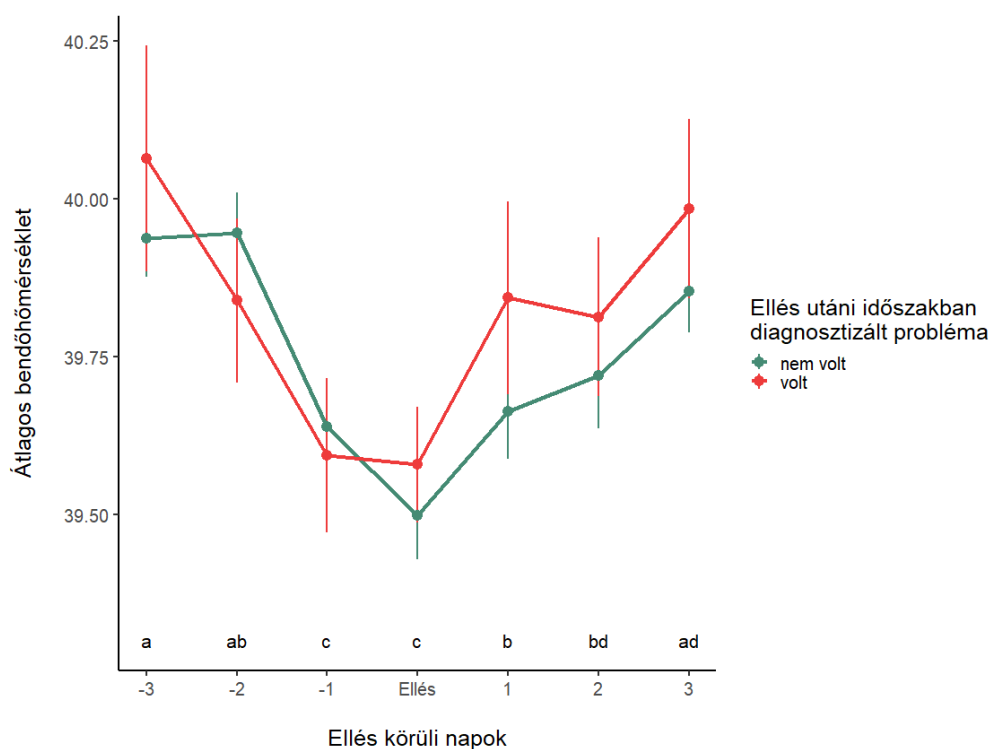


27. ábra Az átlagos bendőhőmérséklet alakulása az ellés körüli időszakban

(csoportok között: $p=0,0463$)

A bendőhőmérséklet alakulását az ellés körüli időszakban, az ellés utáni időszakban diagnosztizált probléma függvényében vizsgáltuk. Az átlagos bendőhőmérséklet hasonló mintázatot követ az ellés körüli időszakban az egészséges és megbetegedett tehenek esetében is, az ellés napján jelentős fiziológiás csökkenéssel (**27. ábra**). A napi átlagos bendőhőmérséklet szignifikáns összefüggést mutatott az ellésig hátralévő napok, valamint az ellés utáni napok számával ($p < 0,0001$), továbbá a hőmérséklet-páratartalom indexszel (THI) is ($p < 0,0001$). Ugyanakkor a vizsgálati időszakban (-5 és +14 nap az elléshez képest) a postpartum betegségek jelenléte nem volt szignifikáns hatással a bendőhőmérsékletre ($p = 0,463$). A bendő hőmérséklet változására látszólag inkább az ellés, mint a THI változása volt hatással ebben az időszakban. Az ellés körüli fiziológiás testhőmérséklet csökkenés hőstressz alatt is megfigyelhető volt. A maximum testhőmérséklet olykor elérte a 41 °C-ot, ami jelentős terhelés a szervezet számára.

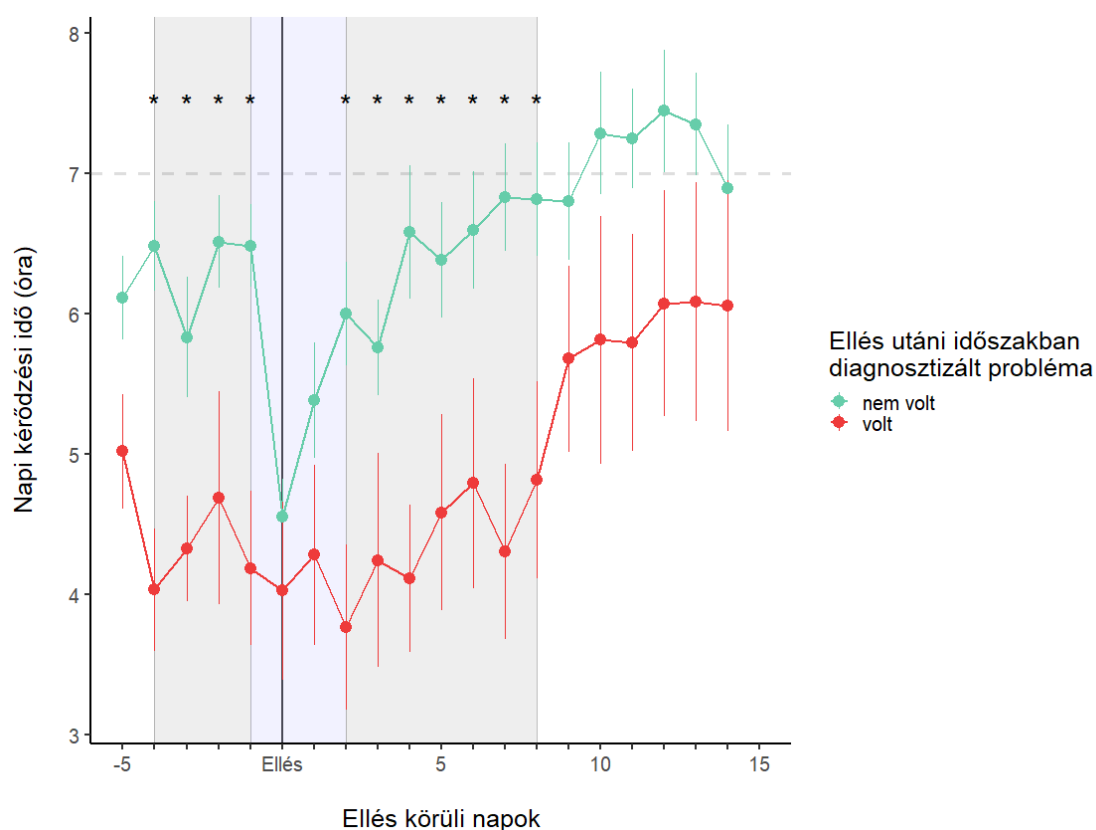
Az ellés körüli időszakban tapasztalható változást az ellést megelőző 3. naptól az ellést követő 3. napig vizsgáltuk. Az alábbi **28. ábrán** szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelöl az egyes napok átlagos bendőhőmérséklete között az, ha a betűk egyike sem egyezik a két adott nap jelölése között.



28. ábra Az átlagos bendőhőmérséklet alakulása az ellést megelőző és követő 72 órában. Szignifikáns eltérést ($p < 0,05$) jelent ha a betűk nem egyeznek a napok között.

3.3.4.5 A kérődzési idő alakulása az ellés körüli időszakban

A kísérlet során azt vizsgáltuk, hogy a hőstressz-körülmények hogyan befolyásolják a kérődzéssel töltött idő, és az ellésig hátralévő, illetve azóta eltelt napok számának összefüggését, valamint, hogy az ellés utáni gyógykezelés szükségessége valamilyen módon előre jelezhető-e a kérődzési idő mértékének változásának mintázatából. Az egészséges tehenek napi átlagos kérődzési ideje az ellést megelőzően 360 ± 45 perc, míg az ellést követően 400 ± 37 perc volt, ezzel szemben a beteg állatoknál alacsonyabb értékeket figyeltünk meg (330 ± 37 , illetve 291 ± 31 perc). A **29. ábra** az ellés körüli időszakban (-5 és +14 nap az elléshez képest) mutatja be a kérődzési idő alakulását a két vizsgálati csoportban. A kérődzési idő szignifikánsan változott az ellés időpontja körül. A vizsgálat során elemeztem a hőstressz hatását a kérődzési idő, valamint az ellésig hátralévő és az ellés utáni napok közötti összefüggésekre. Továbbá azt is vizsgáltam, hogy a kérődzési idő időbeli változásának mintázata alapján előre jelezhető-e a posztpartum megbetegedés és a kezelés szükségessége. A kérődzési idő a vemhesség utolsó napjaiban fokozatosan csökkent, a legalacsonyabb értéket az egészséges csoportban az ellést megelőző napon, míg a beteg csoportban az ellés utáni 2. napon (2. DIM) érte el.

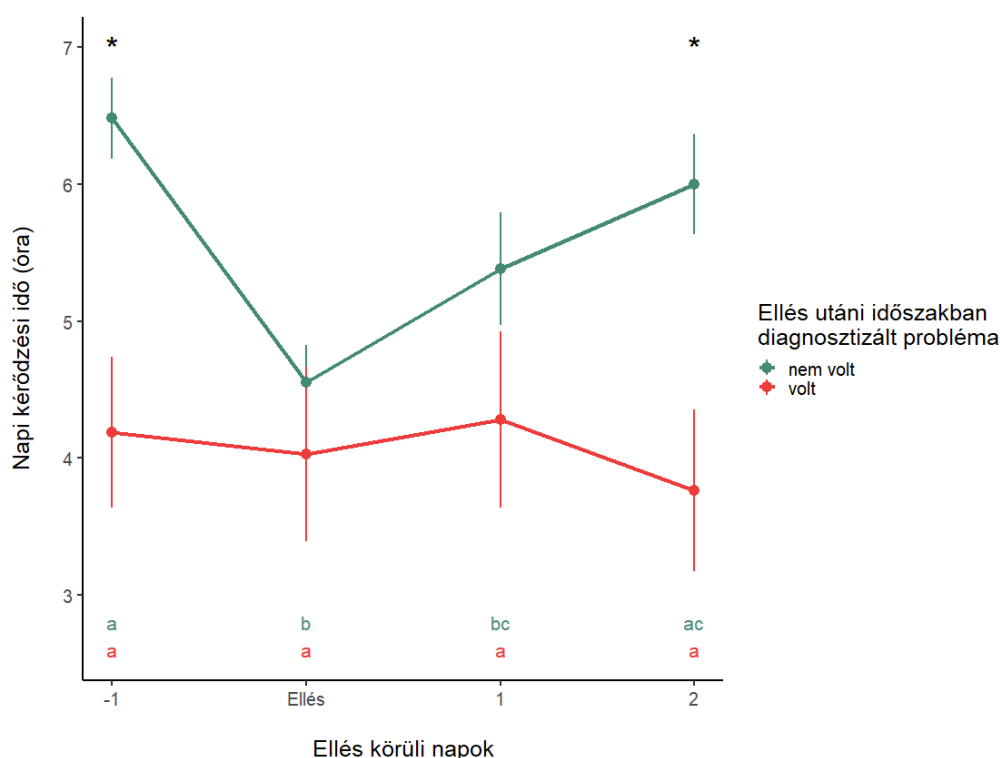


29. ábra Az átlagos kérődzési idő egészséges és beteg teheneknél a vizsgálati időszak alatt

A csillagok azokat a napokat jelölik, amikor szignifikáns különbség volt a csoportok között ($p < 0,05$). Ezeket az időszakokat szürke háttérrel is jelöltük.

A napi átlagos kérődzési időt szignifikánsan befolyásolta az ellés körüli napok száma ($p < 0,0001$), a posztpartum problémák jelenléte ($p < 0,0001$), valamint a hőmérséklet-páratartalom index (THI) is ($p = 0,029$). Mivel közvetlenül az ellés előtt és után nem volt szignifikáns különbség a két csoport között, feltételezhető, hogy ez a kérődzési idő prepartum időszakban mutatott eltérő mértékű változására vezethető vissza.

Ennek megfelelően külön elemeztük az ellés közvetlen időszakát (-1 és +2 nap az elléshez képest). A **30. ábra** ezen külön elemzés eredményeit mutatja, melyek szerint a két csoport között szignifikáns különbség volt kimutatható a -1. és a 2. napon. Az is jól látható, hogy a kérődzési idő az egészséges csoportban csökkent, míg a beteg állatok esetében nem változott jelentősen az ellés körüli időszakban. A kérődzési idő csökkenés az egészséges tehenek esetében néhány napon belül normalizálódott, míg a beteg állatoknál ez jóval több időt igényelt. Az eredményeink alapján a kérődzés nyomonkövetésével akár egyedi szinten is támogatathatjuk az állatok egészségi állapotát időben történő célzott beavatkozással a minél eredményesebb tranzíciós időszak elérése érdekében.

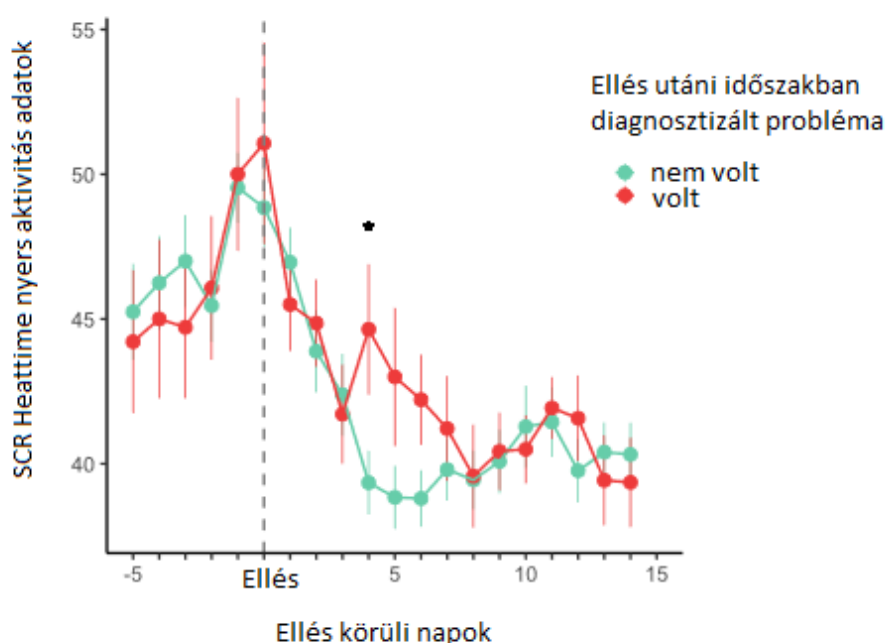


30. ábra Az átlagos kérődzési idő alakulása egészséges és beteg tehenek esetében a közvetlen peripartum időszakban

A csillagok a csoportok közötti szignifikáns $p < 0,05$ különbségeket jelölik, míg a betűk az egyes napok közötti eltéréseket mutatják az adott csoporton belül. Amennyiben két nap jelölésében nincs azonos betű, az adott napok átlagértékei közötti különbség szignifikánsnak tekinthető.

3.3.4.6. Az aktivitás alakulása az elléskörüli időszakban

A **31. ábra** a tehenek aktivitásának alakulását mutatja be a vizsgálati időszak során. Az aktivitás az ellést megelőzően növekedett és ebben az időszakban nem volt különbség a két csoport között. Az egészséges tehenek aktivitása a 4. ellés utáni napra (4. DIM) visszatért a normál szintre. A beteg állatok aktivitása ezen a napon szignifikánsan magasabb volt az egészséges csoporténál, azonban az 5–7. napon visszatért a normál értékre. Ettől az időponttól kezdve nem volt kimutatható különbség a két csoport között.



31. ábra A napi átlagos aktivitás alakulása a vizsgálati időszak során.

A csillag a két csoport közötti szignifikáns különbséget jelöli ($p < 0,05$)

3.3.5. Megbeszélés

Az ellés időszaka komoly kihívást jelent a tejelő tehenek számára, mivel jelentős élettani változásokkal és környezeti stresszhatásokkal jár, különösen hőterhelt időszakban. Az ellés napján a szárazanyag-felvétel (DMI) megközelítőleg 30%-kal csökken (Schirmann *et al.*, 2013), míg a kérődzési idő 70%-kal esik vissza a szárazonállási időszakhoz képest (Calamari *et al.*, 2014). A magzati tápanyagigény három héttel az ellés előtt tetőzik, ugyanakkor a szárazonállás alatti hőstressz csökkenti a tejtermelést a soron következő laktációban és kedvezőtlen hatással van a máj anyagcseréjére is (do Amaral *et al.*, 2009). A laktáció korai szakaszában fellépő anyagforgalmi zavarok gyakran további egészségügyi problémákhoz vezetnek, ezért az optimális takarmányozás

és állatjóllét biztosítása kiemelt jelentőségű (Mezetti et al., 2021). A negatív energiamérleghez (negative energy balance, NEB) köthető ketózis az ellés előtt és után is előfordulhat, gyulladást és szervi károsodásokat idézve elő (Choi et al., 2018). A hőstressz által kiváltott takarmányfelvétel-csökkenés tovább súlyosbítja a NEB és fokozza az immunfunkciók gyengülését, így növeli a betegségek – például a magzatburok visszamaradás, metritis, tőgygyulladás és sántaság – kockázatát (Gernand et al., 2019; Molinari et al., 2019; Menta et al., 2022). A fentebb említett tünetek kutatásunkban is előfordultak, az ellést követően a 40 vizsgálatba vont állat közül 14 (35%) megbetegedett.

A szenzoralapú monitoring rendszerek lehetőséget biztosítanak a betegségekre vagy azok kockázatára utaló elváltozások korai észlelésére (Rhoads et al., 2013). A kérődzési idő alakulása megbízható indikátora lehet a későbbi megbetegedéseknek: az ellés előtti alacsonyabb értékekhez magasabb betegségkockázat társul (Saha et al., 2019). Az ellést követő lassabb kérődzési idő növekedés súlyos gyulladással állapott jelezhet a peripartum időszakban. Kovács et al. (2017) megfigyelései alapján a nehézellésű (dystocia) tehenek kérődzési ideje az ellés előtti 8 órában alacsonyabb volt a normál ellésűekhez képest, és a kérődzési aktivitásuk hosszabb ideig alacsony maradt. Hasonló mintázatot figyeltünk meg saját vizsgálatunkban is, ahol az állatokat az ellést követő egészségi állapot alapján egészséges és beteg csoportba soroltuk. A megbetegedett frissen ellett tehenek kérődzési ideje már az ellés előtt is alacsonyabb volt, és hosszabb időt vett igénybe, mire visszatért az ellést megelőző szintre. Soriani et al. (2012) egészséges, többször ellett tehenek esetében stresszmentes környezetben napi 522 perces átlagos kérődzési időt állapítottak meg. A kérődzési időt számos tényező befolyásolhatja, többek között a takarmányozás, a tartástechnológia, a laktációs szakasz és a környezeti feltételek – például a hőstressz (Beauchemin, 2018). Mivel a kérődzési aktivitás akut stressz hatására is változhat (Herskin et al., 2004), feltételezhető, hogy a dystociában vagy más megbetegedésekben szenvedő tehenek fokozott stressznek vannak kitéve az ellés közeledtével. Más kutatókhoz hasonlóan mi is szignifikáns negatív korrelációt találtunk a kérődzési idő és a hőmérséklet-páratartalom index (THI) között: a THI növekedésével a kérődzési idő csökken (Moretti et al., 2017; Soriani et al., 2013; Müschner-Siemens et al., 2020). Paudyal et al. (2016) szintén kimutatták az évszak hatását a kérődzésre az ellés környékén: a nyári időszakban megbetegedett tehenek (NEB, ketózis, dystocia stb.) napi átlagos kérődzési ideje alacsonyabb volt, mint az egészséges társaiké.

A reticulorumen-hőmérséklet közvetlenül az ellés előtt 0,4–1,0 °C-kal csökken, amit endokrin és viselkedésbeli változásokkal magyaráznak (Humer et al., 2015). Vizsgálatunkban hasonló mintázatot figyeltünk meg, és úgy tűnik, hogy a reticulorumen-hőmérséklet változását ebben az időszakban elsősorban az ellés határozta meg, kevésbé befolyásolta a hőstressz, azaz a THI alakulása. A legtöbb tanulmány, csakúgy, mint a mi eredményeink is, azt mutatják, hogy az ellést

megelőző 24 órában a dystociás, illetve egyéb megbetegedésekben (pl. ketózis, tőgygyulladás, metritis) szenvedő tehenek nyugtalanabb viselkedést mutatnak, mint az egészségesen ellő társaik (*Antanaitis et al.*, 2020; *Proudfoot et al.*, 1998; *Barrier et al.*, 2012). A nyugtalanság különböző viselkedési formákat ölel fel, többek között a gyakori felállás és lefekvés, a sétálás, illetve a testsúly áthelyezése, amelyek mind a diszkomfort és fájdalom jelei (*Proudfoot et al.*, 1998). A hőstressz hatására a tehenek több időt töltenek állva, hogy növeljék a hőleadó testfelületüket, ugyanakkor ez megzavarhatja az ellési folyamatot, és nehezebb ellést eredményezhet. Vizsgálatunk eredményei összhangban állnak más kutatásokkal, amelyek szerint az ellés közeledtével fokozódik az aktivitás (*Jensen*, 2012), azonban ennek mértéke az állatok egészségi állapotától is függ. *Antanaitis et al.* (2020) szerint a beteg tehenek aktivitása az ellés előtti 1 napban meredeken emelkedik, különösen azoknál, amelyeknél nagyobb eséllyel alakul ki ellési bénulás/hipokalcémia vagy magzatburok visszamaradás. Ezzel szemben az egészséges és a klinikai tőgygyulladással érintett tehenek aktivitása közvetlenül az ellés után csökken. Vizsgálatunkban nem tudtunk további alcsoportokat kialakítani a beteg (DI) csoporton belül a korlátozott egyedszám és az egyedek komplex megbetegedései miatt. A magas környezeti hőmérséklet okozta stressz súlyosbítja az állatok egészségi állapotát, fokozott lihegést és megnövekedett állásidőt eredményez, miközben csökkenti a kérődzési aktivitást, ami késleltetheti a gyógyulást.

Az ellés körüli időszakban jelentkező hőstressz jelentős hatással van a tejelő tehenek egészségi állapotára, mivel befolyásolja a kérődzési időt, a reticulorumen-hőmérsékletet és az aktivitást. Vizsgálatunk megerősítette, hogy a posztpartum megbetegedések kialakulása előtt már a vemhesség utolsó szakaszában csökken a kérődzési idő, ami potenciális korai betegségindikátorként szolgálhat. A reticulorumen-hőmérséklet az ellés körül csökkent, amit elsősorban maga az ellés befolyásolt, mérsékelt korrelációt figyeltünk meg a hőmérséklet-páratartalom indexszel (THI) összefüggésben. Az aktivitás az ellés előtt nőtt, azonban a beteg állatoknál ez a fokozott aktivitás tartósabban fennmaradt, ami valószínűleg a diszkomfortérzet és a stressz következménye. Eredményeink rávilágítanak a precíziós monitoring rendszerek jelentőségére a korai detektálás és beavatkozás szempontjából, amelyek javíthatják az állatok egészségi állapotát, és támogatják a tranzíciós időszakot. A hőstressz elleni intézkedés a szárazonálló tehenek esetében is rendkívül fontos. A hatékony hűtési stratégiák alkalmazása elengedhetetlen az immunfunkciók fenntartása érdekében, valamint az ellést követő optimális termelési és reprodukciós teljesítmény eléréséhez.

3.4. A hőstressz hatása az ivarzási viselkedésre és a vemhesülés eredményességére

3.4.1. A vizsgálat jelentősége

A hőstressz több szempontból is negatívan befolyásolja a reprodukív teljesítményt. A nyári gyenge fertilitás a különféle stresszhatások kumulatív hatásainak eredménye, amelyek közvetlen és közvetett mechanizmusok révén befolyásolják a reprodukív hormonháztartás egyensúlyát, rontják a petesejtek minőségét és gátolják az embrió optimális fejlődését (*Pereira et al.*, 2015; *Dovolou et al.*, 2023). A hőstressz az embriófejlődés minden szakaszára hatással lehet, ugyanakkor a korai fejlődési szakaszok különösen érzékenyek. Hőstresszes körülmények között késhet a luteolízis a csökkent ösztadiol szintézis következtében, ami kisebb méretű tüszők kialakulásához vezethet. Ez a tendencia már 68-as THI (temperature-humidity index) érték felett megfigyelhető. A megnövekedett testhőmérséklet megváltoztatja a tehenek állási és fekvési viselkedését (*Allen et al.*, 2015), és befolyásolja az ivarzás viselkedésbeli jeleinek kifejeződését.

A környezeti tényezők – mint a hőmérséklet, páratartalom és szélesség – jelentős hatással vannak a tejhasznú tehenek ivarzási viselkedésére (*Roelofs et al.*, 2010). Hőstresszes környezetben csökken az állatok aktivitása, valamint az ugrások gyakorisága, ezáltal csökken az ivarzás észlelésének aránya, akár vizuális, akár automatikus megfigyelési rendszerekkel (*Peralta et al.*, 2005). A vizuális megfigyelés előnye, hogy lehetővé teszi a hüvelyvadás és a nyálkahártya színének vizsgálatát, azonban a HS befolyásolja az endometrium működését és a méh szekréciós aktivitását, ami csökkent váladékképződéshez és alacsonyabb kontraktilitáshoz vezet (*Wolfenson et al.*, 2000). A hőstresszes időszakban nő az aciklia, csendes ovuláció és anösztruszos állapot előfordulásának gyakorisága (*Gwazdauskas et al.*, 1981; *Sammad et al.*, 2020). *López-Gatius et al.* (2005) nyári hónapokban csökkent aktivitást figyeltek meg, hasonlóan *Hansen* (1997) eredményeihez, aki megállapította, hogy a hőterhelés csökkenti az ivarzás időtartamát és intenzitását.

Kísérletünk célja annak vizsgálata volt, hogy a környezeti hőmérséklet milyen hatást gyakorol az indukált ivarzás során a laktáló tejhasznú tehenek ivarzási viselkedésének kifejeződésére, aktivitására, valamint a vemhesülés arányára. Feltételeztük, hogy a környezeti hőmérséklet emelkedésével megváltoznak a hormonális paraméterek, csökken az ivarzási viselkedés kifejeződése, ezáltal az ivarzásmegfigyelés lehetősége nagymértékben lekorlátozódik, valamint a vemhesülés eredményessége jelentősen csökken a hőstresszes időszakokban.

3.4.2. Anyag és módszer

3.4.2.1. Kísérlet helyszíne és állatok

A vizsgálatot egy Fejér megyei (47°25'39.2" É, 18°46'12.4" K) nagyüzemi tejelő szarvasmarha telepen végeztem, ahol mintegy 850 tejtermelő holstein-fríz tehén és szaporulata található. A kísérletben összesen 58 klinikailag egészséges, többször ellett, ovuláció szinkronizált tehén vett részt, két eltérő környezeti időszakban: nyáron (2023 augusztus) hőstressz körülmények között (HS; THI_{max}=80; n=30), illetve télen (2023 december) hőstressz-mentes körülmények között (NHS; THI_{max}=48; n=28). Mindkét időszakban az állatokat a hormonkezelési protokoll alapján két csoportba soroltam: G7G és OvSynch (OVS). A csoportok jellemzőit a **10. táblázat** részletezi.

10. táblázat. A vizsgálatban vont csoportok és azok jellemzői

Csoport	n	DIM	tejtermelés (L)	ellések száma	termékenyítés száma
G7G					
HSG7G	15	68,1 ± 1,9	45,3 ± 9,9	2,1 ± 1,2	1,0 ± 0,0
NHSG7G	15	66,1 ± 1,6	43,1 ± 7,0	2,7 ± 1,2	1,0 ± 0,0
OVS					
HSOVS	15	160,7 ± 64,6	43,3 ± 11,2	1,9 ± 0,6	2,6 ± 0,6
NHSOVS	13	157,3 ± 64,1	28,7 ± 6,6	2,5 ± 1,3	2,8 ± 0,9

G7G: a G7G programba volt tehenek; OVS: OvSynch protokoll; HS: hőstressz (nyár); NHS: nem hőstresszes időszak (tél); DIM: elléstől eltelt napok száma

Az állatok kötetlen istállóban tartózkodtak, szalmázott egyedi boxos tartástechnológiával, barázdált beton padozatú trágyafolyósóval. Az etetőút fölött néhány alacsonyabb hatásfokú ventilátor volt elhelyezve a levegő áramoltatása céljából (**18. kép**). A teheneket napi két alkalommal fejték (04:00 és 16:00 óra) egy BouMatic 2x2x12 állásos halszállásos fejőházban. A vizsgálat idején az állomány 305 napos átlag laktációs tejtermelése 9149 kg/tehen volt. Az állatok teljes takarmány keveréket (TMR) kaptak, ami napi két alkalommal került kiosztásra (5:00-14:00 óra körül). A TMR takarmány és az ivóvíz *ad libitum* elérhető volt az állatok számára.



18. kép A kísérlet helyszíne a kamerákkal felszerelt istálló

Fotó: Szalai Szilvia

3.4.2.2. Az istálló mikroklímája

Mindkét vizsgálati időszakban (augusztus; december) időjárás-adatrögzítő eszközöket (Voltcraft DL-181 THP; Conrad Electronic SE, Hirschau, Németország) helyeztem el az istállóban, közvetlenül a tehenek fölé (**19. kép**). Az eszközök a vizsgálat teljes időtartama alatt - a termékenyítést megelőző héttől kezdődően a vemhesség vizsgálatig, azaz a termékenyítést követő 35. napig – folyamatosan rögzítették a meteorológiai adatokat. Félórás időközönként mérték a száraz levegő hőmérsékletét (T , °C) és a relatív páratartalmat (RH, %). Az eszközről az adatok USB kapcsolaton keresztül letöltöttem a számítógépre telepített saját szoftverére, ahonnan exportáltam további statisztikai elemzésre. Az így nyert adatok alapján számítottam ki a hőmérséklet-páratartalom indexet (THI), a következő képlet segítségével:

$$\text{THI} = (0,8 \times T) + (\text{RH}/100) \times (T-14,4) + 46,4$$

ahol a T a száraz léghőmérsékletet (°C), az RH a relatív páratartalmat (%) jelenti (Mader et al., 2006).

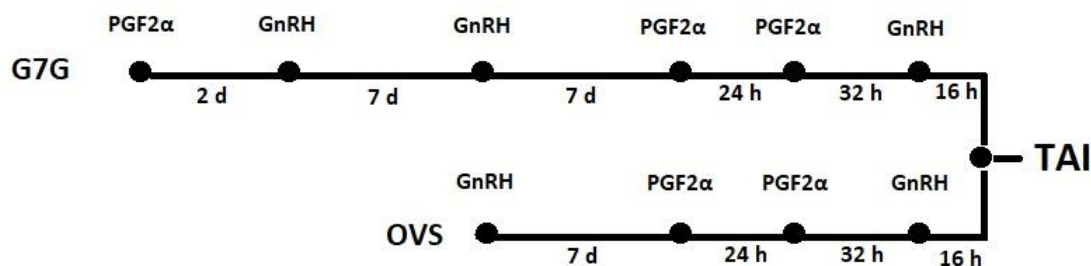
A hőstressz határértékét hazai vizsgálatok alapján **68 THI**-ban határoztuk meg, mely a szakirodalomban elfogadott érték kontinentális éghajlaton (Reicziegel et al., 2009).



19. kép A tehenek fölé helyezett Voltcraft adatgyűjtő *Fotó: Szalai Szilvia*

3.4.2.3. Ovuláció szinkronizáció program

Az önkéntes várakozási időt követően a tehenek 48 ± 3 (45-51 DIM, days in milk) G7G ivarzás szinkronizációs programba kerültek a telepen minden 7. napon, amely az ellést követő első termékenyítést (TAI) készítette elő. A G7G program a következők szerint zajlott: prosztoglandin F2 α (PGF2 α ; klopasztanol, 0,250 mg, 2 ml, Syncoprost; Vetem S.p.A., Porto Empedocle, Olaszország) injekció, amelyet 2 nappal később gonadotropin-felszabadító hormon (GnRH; gonadorelin, 50 μ g, 2 ml, Ovarelin; Ceva Santé Animale, Libourne, Franciaország) beadása követett, majd megegyezett az alábbiakban ismertetett OVS programmal. Az első termékenyítést követő negatív vemhességdiagnózisú tehenek OVS programba kerültek. A javított 7 napos Ovsynch (OVS) protokollt alkalmazták dupla PGF kezeléssel, amely a következőképpen épült fel: GnRH, 7 nap, PGF2 α , 24 óra, PGF2 α , 32 óra, GnRH, 16 óra, majd TAI (**32. ábra**). A vemhességvizsgálat chorioallantoic membrán slip technikával történt (*Zemjanis*, 1970; *Romano et al.*, 2007), a termékenyítést követő 35. napon, majd a negatív diagnózisú (üres) tehenek minden sikertelen termékenyítést követően Ovsync programba kerültek elősegítve a mihamarabbi sikeres vemhesítésüket. A G7G tehenek termékenyítése csütörtöki napon, az Ovsync minden héten pénteki napon történt a sperma forgalmazó cég párosítási terve szerinti bikákkal. Nyáron nem használtak szexált spermát a hőstressz okozta gyenge fertilitás miatt, míg télen az elsőborjas tehenek első termékenyítéséhez szexált spermát alkalmaztak.



32.ábra Alkalmazott PGF2 α és GnRH hormon alapú ovuláció szinkronizációs programok (saját)

3.4.2.4. Ivarzási tünetek értékelése

11. táblázat: Az ivarzási tünetek érzékszervi bírálata közvetlenül a termékenyítés előtt

Ivarzási tünetek leírása		Pont
Ivarzási váladék	Nincs	1
	Kevés	2
	Nagy mennyiségű, csánkig lógó	3
Leugrálás nyoma	Nincs	1
	Nedves szőrzet	2
	Hiányos szőr, friss sebek	3
Méh erigáltsága	Petyhüdt	1
	Közepes	2
	Gumibot szerű, feszes	3

A szinkronizált tehenek vérvételre és mesterséges termékenyítésre történő elkülönítése automata válogató kapun keresztül valósult meg a TAI (időzített mesterséges termékenyítés) napján a reggeli fejést követően. Az ivarzás jeleinek értékelésére közvetlenül a TAI előtt került sor, amit a telep inszeminátorával közösen végeztem, három meghatározott kritérium alapján: az ivarzási nyálka mennyisége, a leugrálás nyomai (a farok tövéénél a szőr és bőr kopása), valamint a méh erigáltsága. Az értékelés 1-től 3-ig terjedő skálán történt, ahol az 1-es pontszám a hiányzó vagy gyenge, a 2-es a közepes, míg a 3-as a nagy mennyiségű nyálkát, jól látható felugrási nyomokat, illetve kifejezett tónusú méhet jelölt (**11. táblázat**). A nyálka mennyiségét és a méh tónusát rektális tapintással értékeltük, amely egy jól bevált és széles körben alkalmazott telepi módszer. Ez lehetővé teszi az értékelő számára, hogy megállapítsa az ivarzási állapotot. Ivarzás idején a méh általában fokozott tónust és ritmikus összehúzódásokat mutat az emelkedett ösztrogénszint és a fokozott méhizom-aktivitás következtében.

12. táblázat: Az ivarzási intenzitás, a videófelvételek, aktivitásmérő rendszer és az érzékszervi bírálatok alapján kialakított csoportok

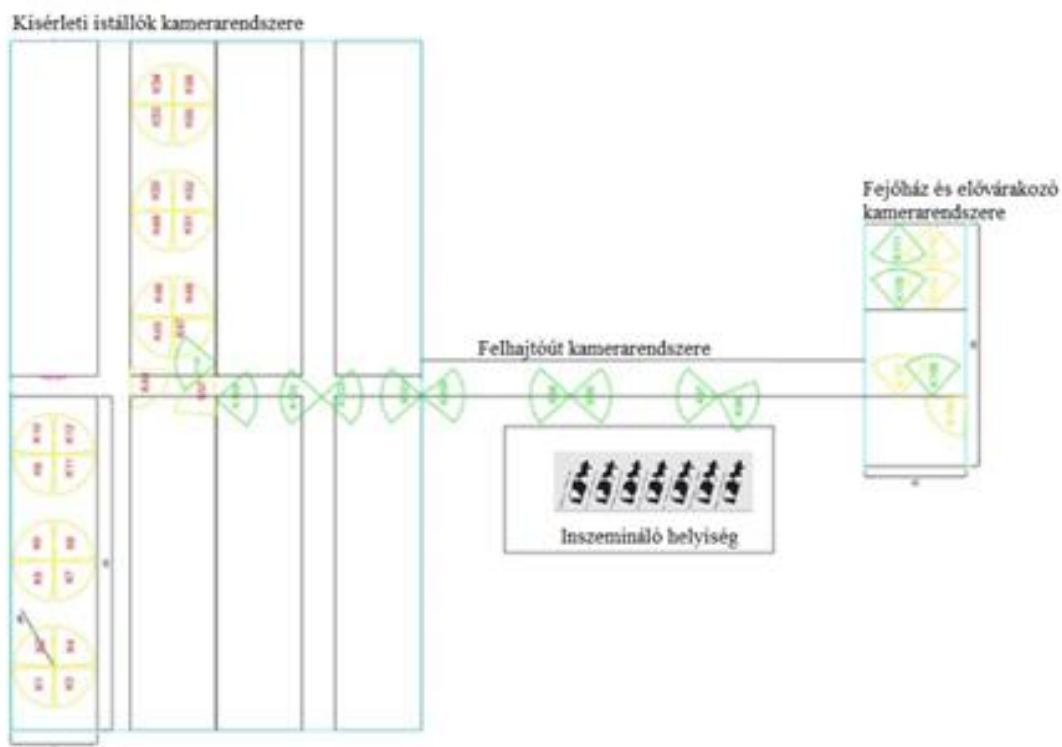
1. csoport	Intenzív ivarzó	Videófelvétel és/vagy aktivitásmérő adatai alapján kifejezett ivarzási viselkedés, nagy mennyiségű ivarzási nyálka
2. csoport	Csendes ivarzó	Nem mutattak látható ivarzási jeleket, nem volt nagy mennyiségű ivarzási nyálka, de vemhesültek
3. csoport	Nem ivarzó	Semmilyen ivarzási jelet nem mutattak, nem is vemhesültek

Az ivarzási jelek alapján három csoportot tudtunk kialakítani. Azokat az állatokat, amelyeknél a videófelvétel vagy az aktivitásmérő adatai alapján egyértelmű viselkedési ivarzási jelek voltak megfigyelhetők, és a TAI napján nagy mennyiségű ivarzási nyálka is jelen volt, az intenzív ivarzó csoportba soroltuk. Azokat az egyedeket, amelyek nem mutattak látható viselkedési ivarzási jeleket, nem rendelkeztek nagy mennyiségű nyálkával, de mégis vemhesültek, a csendes ivarzó csoportba soroltuk. Minden további állatot a nem ivarzó kategóriába soroltunk (**12. táblázat**).

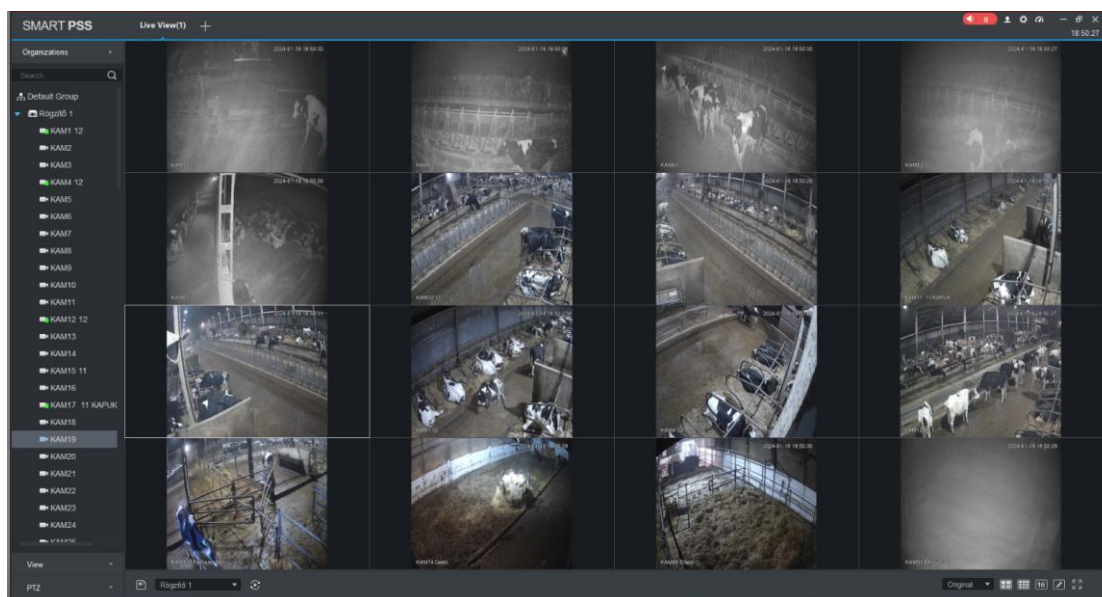
3.4.2.5. Kamerarendszer

Az ivarzási viselkedés kifejeződésének komplex értékelése érdekében a szinkronizálási protokoll utolsó injekcióját megelőző napon a teheneket számokkal jelöltem meg a hátukon (**25. kép**), hogy megfigyelésük során a Smart PSS (DH Vision Inc., Hannover, MD, USA) éjjellátó kamerarendszeren keresztül jól láthatóak és beazonosíthatóak legyenek. A megjelölt egyedeknél a TAI előtti 12 órában az ivarzási viselkedésformákat (ugrás-álló ivarzás) rögzítettük, hogy feltárjuk az ivarzás megnyilvánulásait eltérő környezeti feltételek között, majd összehasonlíthassuk azokat a hormonkoncentrációk eredményeivel.

A kamerarendszer két csoportot lefedő, 2×12 db kamerából állt, amely a nap 24 órájában videofelvételeket rögzített az állatok életterén, valamint további kamerákon keresztül (17 db) a felhajtóúton és a fejőházi elővárakozó területén történő eseményeket is megfigyelhettem (**33. ábra**). A videók real-time és rögzített változatban is elérhetőek a Smart PSS szoftveren (**20. kép**) a központi számítógépen, azonban a tárhely kapacitás miatt az adatok 5 napon túl felülíródnak ezért nagy tárhelyű külső merevlemezre töltöttem a felvételeket későbbi elemzés céljából.



33. ábra Kamerarendszer alaprajza



20. kép A SmartPSS videó megfigyelő program

Fotó: Szalai Szilvia

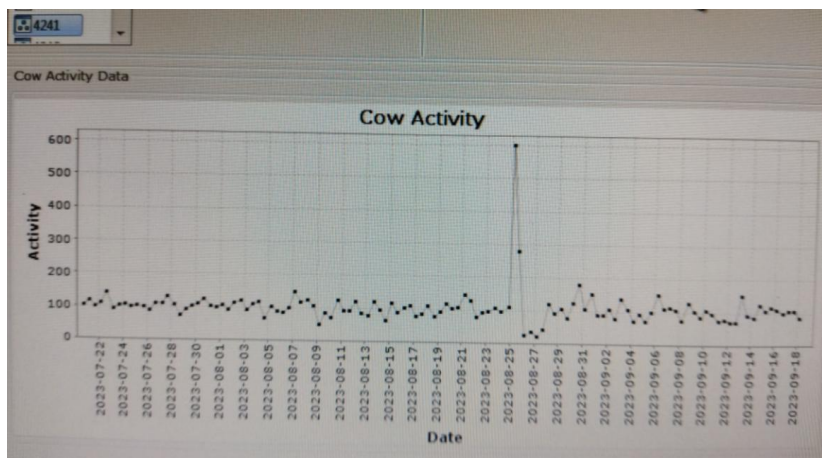
Az állatok aktivitásának és egyes viselkedéselemeinek elemzését a rögzített videófelvevételek alapján végeztük. Az elemzés 41 kamera több mint 1800 órás (9. sz. melléklet) videóanyag kiértékelését jelentette.

3.4.2.6. Aktivitás

A videós megfigyelésen túl az állatok aktivitását a Heat Seeker (BouMatic, Madison, WI, USA) nyaktranszponder (**21. kép**) is rögzítette, amely az összegyűjtött adatokat naponta kétszer, fejési időpontokban leolvasta egy antennán keresztül és továbbította a Smart Dairy Herd Metrix rendszerbe (BouMatic, Madison, WI, USA). A program az algoritmusbeállítások alapján jelzi az ivarzást (**34. ábra**), ezzel támogatva az optimális termékenyítés időpontját. Mivel a telepen minden tehén hormonprogramba kerül, ezért csak a visszaivarzó egyedek esetében használják a rendszer ivarzásfigyelési moduljában rejlő lehetőségeket.



21. kép Nyaktranszponder



34. ábra SmartDairy aktivitás grafikon

Fotó: Szalai Szilvia

3.4.2.7. Biológiai minták

A kísérletbe vont állatok (n=30 hőstressz, n=28 hősemleges) (**22-23. kép**) farokvénájából (v. caudalis) közvetlenül a TAI előtt minden tehéntől 2 vérmintát vettem Li-heparinos vákuumcsőbe (Vacuette, Greiner Bio One, Kremsmünster, Ausztria) (**24. kép**), amelyeket a vérvétel után hűtőtáskába helyeztem 4 °C-fokra, majd a laboratóriumba szállítottam. A centrifugálást 4000 fordulat/perc sebességgel, 10 percen keresztül végezték, ezt követően a nyert plazmamintákat – 80 °C-on tároltuk a további analízisig. A hormonális paraméterek közül az ösztadiol, luteinizáló hormon (LH), prolaktin, inzulin és az inzulinszerű növekedési faktor-1 (IGF-1) szintjét határoztuk meg.



22. kép Vervétel hőstresszes időszakban



23. kép Vervétel hősemleges időszakban

Fotó: inszeminátor

Az egyes minták 17β -ösztadiol koncentrációját ELISA-val határoztuk meg (DE2693, Demeditec Diagnostics, Kiel, Németország; analitikai érzékenység: 10,6 pg/ml; intra-assay CV <5%; inter-assay variációs együtthatók: 14,9% alacsony és 6,9% magas kontroll esetén).

Az inzulin szintjét DE2935 ELISA teszttel mértük (Demeditec Diagnostics, Kiel, Németország), melynek analitikai érzékenysége 2,99 uIU/ml volt. A vizsgálat során az intra-assay CV <5%, míg az inter-assay CV 5,04% és 0,16% volt az alacsony és magas kontrollminták esetében.

Az IGF-1 koncentrációját DEE020 ELISA teszttel határoztuk meg (Demeditec Diagnostics, Kiel, Németország). Az analitikai érzékenység 0,813 ng/ml volt; az intra-assay CV <5%, míg az inter-assay variációs együtthatók rendre 6,56%, 6,43% és 5,53% voltak az alacsony, közepes és magas kontrollminták esetén.

A prolaktin szintjét szarvasmarha-specifikus prolaktin ELISA-val mértük (EB0013, Wuhan Fine Biotech Co., Wuhan, Kína), melynek analitikai érzékenysége 0,469 ng/ml volt. Az intra-assay CV <5%, az inter-assay CV értékek pedig 5,36%, 5,12% és 6,2% voltak az alacsony, közepes és magas kontrolloknál.

A luteinizáló hormon (LH) meghatározása a DE1289 ELISA teszttel történt (Demeditec Diagnostics, Kiel, Németország). Az analitikai érzékenység 1,7 mIU/ml volt; az intra-assay CV <5%, az inter-assay CV értékei pedig 11,02%, 3,22% és 4,45% voltak az alacsony, közepes és magas kontrollok esetében.



24. kép Kísérleti eszközök



25. kép Kísérletben résztvevő állatok jelölése

Fotó: Szalai Szilvia

3.4.3. Statisztikai értékelés

A statisztikai elemzés során kategorikus változókat (vemhes – nem vemhes; csendes – intenzív – nem ivarzó) és folytonos változókat (plazma ösztadiol koncentráció) vizsgáltunk az ivarzás szinkronizálási módszerének (G7G protokoll és OvSynch) és az évszaknak (nyár, tél) függvényében.

A feltáró elemzésben oszlopdiagramok és átlagértékeket ábrázoló grafikonok segítségével térképeztük fel az adatokban rejlő mintázatokat, valamint elemeztük az előrejelző változók közötti interakciókat.

A kategorikus változók esetében a csoportokon belüli arányokat évszakonként hasonlítottuk össze Fisher-féle egzakt próba segítségével. A folytonos változók esetében a paraméterek átlagait csoport, évszak, valamint ezek interakciós tényezője mentén kétfaktoros varianciaanalízissel (ANOVA) vizsgáltuk.

A post hoc elemzések során a többszöri összehasonlításból adódó hibalehetőségek korrekciójára Tukey-féle módszert alkalmaztunk. A statisztikai szignifikanciaszint minden esetben $p < 0,05$ értékben került meghatározásra.

Az adatvizualizációt és a hipotézisvizsgálatokat az R statisztikai környezetben végeztük (R Core Team, 2024).

3.4.4. Eredmények

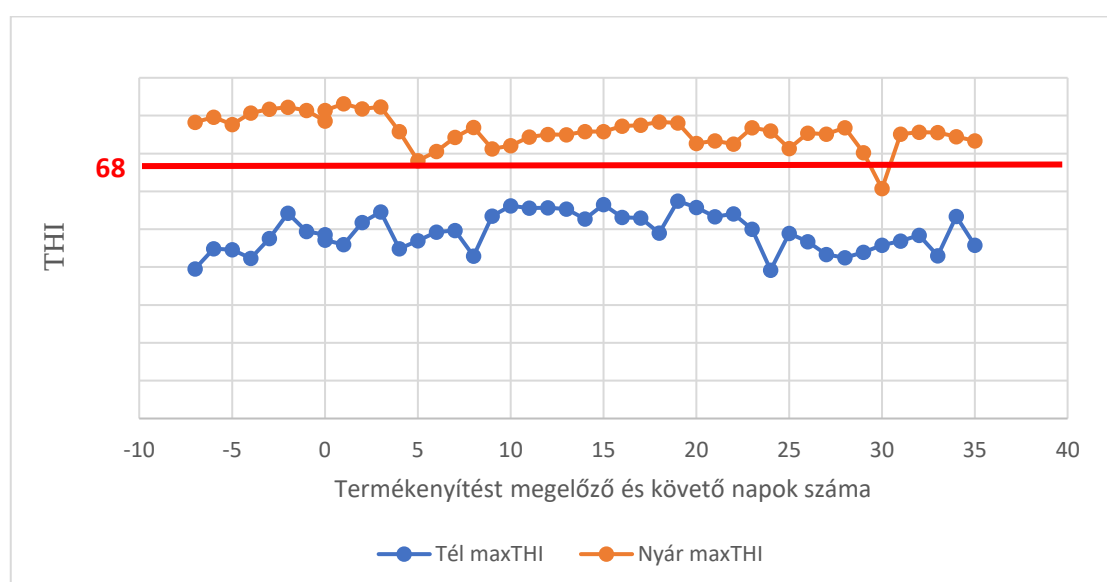
3.4.4.1. Az istálló mikroklímája

A vizsgálati időszakok során mért istállóklíma adatait a **13. táblázat** mutatja be. A napi maximális THI értékek a nyári vizsgálati időszak szinte teljes egésze alatt meghaladták a 68-as THI küszöbértéket, ami arra utal, hogy a tehenek hőstressznek voltak kitéve.

13. táblázat Az istálló mikroklímája a kísérleti időszakban

	Nyár	Tél
Környezeti hőmérséklet (°C; átlag; min.; max.)	23; 14; 35	5; -4; 14
Relatív páratartalom (%; átlag; min.; max.)	67; 32; 95	77; 39; 95
THI (átlag; min.; max.)	70; 57; 83	44; 28; 57

A kihelyezett időjárási adatgyűjtőkkel a termékenyítést megelőző héttől kezdődően egészen a vemhesség vizsgálatig rögzítettük a hőmérséklet és páratartalom értékeket, majd letöltést követően THI indexet számítottunk. Jól látható, hogy a maximális THI indexek a nyári kísérlet során szinte végig 68-as THI-t meghaladó (**35. ábra**), azaz hőterhelt időszakot jelentett a tehenek számára, ami nem biztosított kedvező feltételeket a megtermékenyülésnek és az embrió beágyazódásának, fejlődésének.



35. ábra: A THI alakulása a kísérlet során

3.4.4.2. Hormon vizsgálat eredményei

A hormonvizsgálati eredményeknél arra voltunk kíváncsiak, hogy a két különböző hormon program mellett hogyan alakulnak a hormonkoncentrációk a hőterhelt és hősemleges időszakban. A **14. táblázat** a vizsgálati időszakok során mért hormonszintek összefoglalását tartalmazza. Az ösztrogénhormonok közül az ivarzási viselkedésért felelős ösztradiol átlagos koncentrációja a G7G programban az évszaktól függetlenül hasonló értékeket ($p=0.939$) mutatott, míg az OVS program esetében a téli időszakban szignifikánsan magasabb volt a nyárihoz képest. A többi vizsgált hormon koncentrációjában nem volt szignifikáns különbség a nyári és a téli időszak között.

14. táblázat A hormonkoncentrációk alakulása a G7G és OVS csoportban

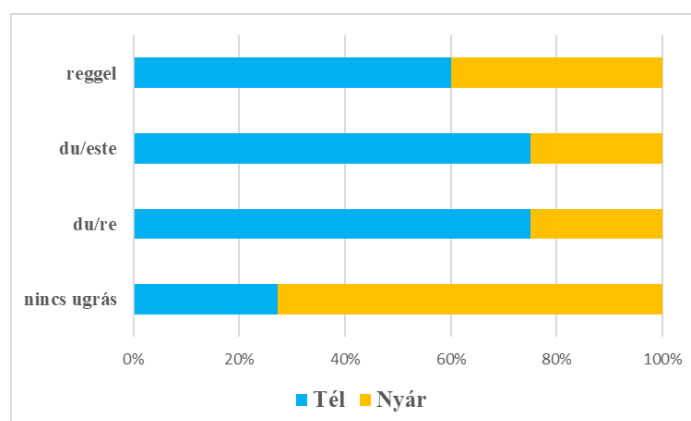
	Nyár Átlagérték (95% CI)	Tél Átlagérték (95% CI)	p-érték
Ösztradiol			
G7G	35.2 (27.6; 42.9)	35.7 (28.0; 43.3)	0.939
OVS	20.7 (13.0; 28.3)	43.2 (35.0; 51.4)	< 0.001
LH			
G7G	0.54 (0.22; 0.86)	0.34 (0.08; 0.61)	0.322
OVS	0.25 (-0.11; 0.62)	0.28 (-0.09; 0.64)	0.928
Inzulin			
G7G	21.9 (15.8; 28.0)	17.0 (10.9; 23.1)	0.256
OVS	19.8 (13.8; 25.9)	20.1 (13.6; 26.6)	0.960
Prolaktin			
G7G	31.2 (18.8; 43.5)	39.3 (26.9; 51.6)	0.356
OVS	26.4 (14.1; 38.8)	36.7 (22.3; 51.1)	0.281
IGF-1			
G7G	154.0 (118.0; 189.0)	145.0 (109.0; 180.0)	0.714
OVS	174.0 (138.0; 209)	191.0 (153.0; 229)	0.506

3.4.4.3. Az ivarzási viselkedés értékelése az aktivitásjelző rendszer és a videóanalízis alapján

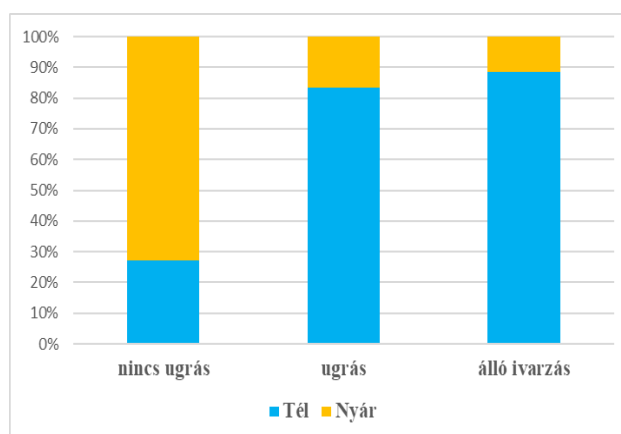
A hőstresszes (HS) időszakban a nem hőstresszes (NHS) periódushoz képest viselkedésbeli változások voltak megfigyelhetők, különösen az ivarzási viselkedés tekintetében. A hőstresszes időszakban a tehenek többsége nappal nem mutatott ivarzást. Egyes egyedek intenzíven mozogtak,

társaikat követték és szaglászta, azonban a tipikus álló és felugró viselkedés a nyári vizsgálat során nem volt megfigyelhető. Meg kell említeni, hogy néhány spontán ivarzó tehén esetében előfordult felugrás, de ez kizárólag éjszaka volt tapasztalható. Egyes állatok késő délután vagy este kezdtek aktív mozgásba, ugyanakkor álló és felugró viselkedés reggel volt jellemző, amikor fejes után a termékenyítésre vártak. Ezzel szemben télen a tehenek többsége az ivarzási viselkedést közvetlenül a TAI-t megelőző napon, a délutáni GnRH-injekció beadása után kezdte mutatni. Az álló és felugró viselkedés gyakorisága szintén eltért az évszakok között: télen ötször több (összesen 125 télen és 25 nyáron, átlagosan $10,4 \pm 12,4$ /tehen télen és $2,1 \pm 4,0$ /tehen nyáron) felugrás és több mint hétszer annyi (összesen 124 télen és 16 nyáron, átlagosan $10,3 \pm 11,6$ /tehen télen és $1,3 \pm 11,6$ /tehen nyáron) álló ivarzás volt megfigyelhető a kamerafelvételek alapján. *Sammad et al.* (2020) 4,5 felugrást figyelt meg tehenenként a téli és 8,6 ugrást a nyári időszakban.

Az alábbi két diagramon az ugrások eloszlását láthatjuk napszakok szerinti felosztásban (**36. ábra**), mely tükrözi az ivarzás időtartamának különbségét is a két évszak között. Emellett az interakciók módjának alakulását is kielemeztük, hogy ugrás és álló ivarzás milyen arányban volt megfigyelhető a hőterhelt és hősemleges időszakokban (**37. ábra**).



36. ábra: Az ugrások eloszlása napszakok szerint a kísérleti és kontroll csoportban



37. ábra: Az ugrások és az álló ivarzás megoszlása hősemleges és hőterhelt időszakokban

3.4.4.4. Az ivarzás intenzitásának eloszlása hőterhelt és hősemleges időszakban

A G7G program esetében a téli időszakban intenzívebb ivarzási viselkedés volt megfigyelhető (**15. táblázat**). Amennyiben a csendes és az intenzív ivarzást mutató egyedeket egy csoportként kezeljük, az ivarzó állatok aránya nyáron 53%, míg télen 87% volt. A nyári időszakban az állatok csaknem fele nem mutatott ivarzási jeleket. Emellett magasabb volt a csendes ivarzások száma is; ezeknél az egyedeknél nem voltak egyértelmű viselkedési jelek, így kizárólag a szinkronizációs hormonprogramnak köszönhetően kerültek termékenyítésre. Ennek hiányában vizuális megfigyeléssel nem kerültek volna felismerésre.

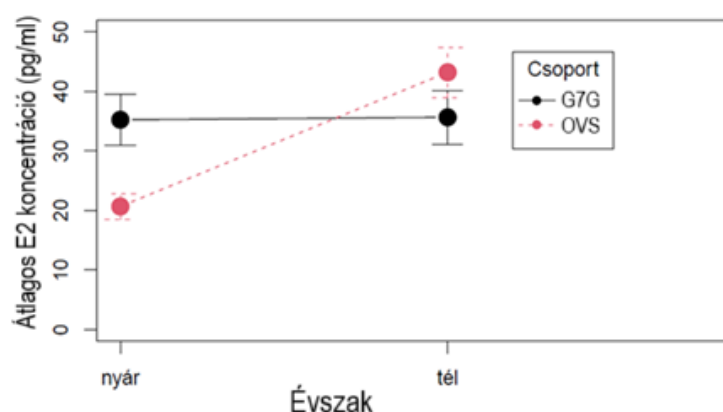
15. táblázat Az ivarzás intenzitásának eloszlása az évszak függvényében

	Nyár	Tél	Az évszak hatása az ivarzásra; p-érték
G7G			
intenzív ivarzó	3	9	0.058
csendes ivarzó	5	4	
nem ivarzó	7	2	
OVS			
intenzív ivarzó	9	10	0.154
csendes ivarzó	4	0	
nem ivarzó	2	3	

Az OVS program esetében az ivarzó állatok számában nem volt statisztikailag igazolható különbség az évszakok között, ugyanakkor az ivarzási viselkedés megjelenési formája és időbeli eloszlása jelentősen eltért. Csendes ivarzás télen nem fordult elő, azonban ezt az alacsony egyedszám is befolyásolhatja.

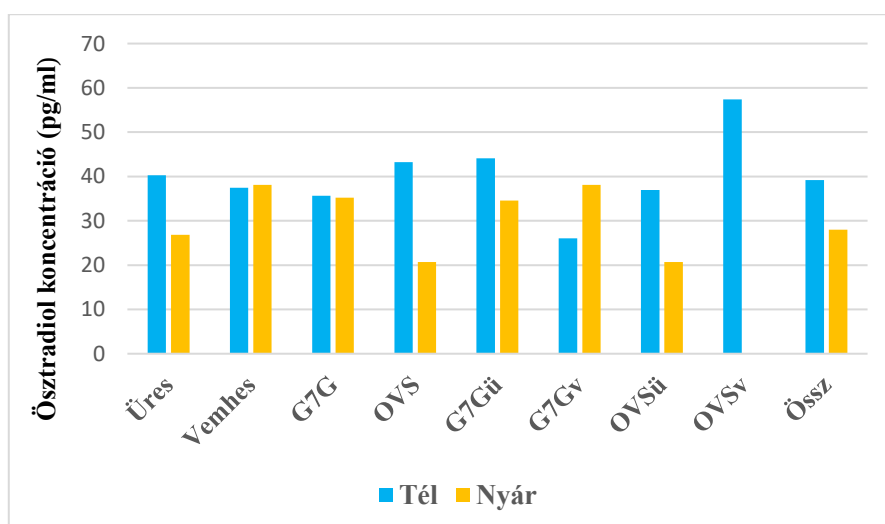
3.4.4.5. Az átlagos ösztadiol koncentráció alakulása az évszak függvényében

Az átlagos ösztadiol koncentráció, amely az ivarzási viselkedés kifejeződéséért felelős hormon a G7G program esetében kiegyenlített értéket mutatott évszaktól függetlenül ($p=0,939$), míg OvSync programnál a téli időszakban szignifikánsan ($p<0,001$) magasabb volt a nyári időszakhoz képest (38. ábra).



38. ábra Az ösztadiol koncentráció alakulása a nyári és téli időszakban (G7G nyár vs. tél $p= 0,939$; OVS nyár vs. tél $p<0,001$)

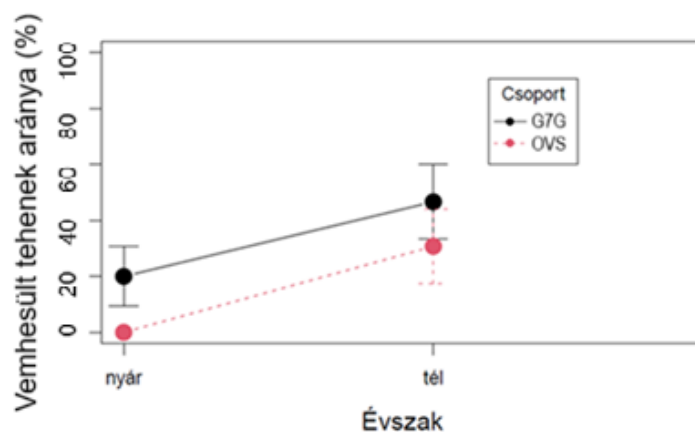
Az ösztadiol koncentrációja (pg/ml) összességében a téli időszakban magasabb, ami az ivarzások kifejeződésével összhangban van (39. ábra). A vemhesült állatoknál közel azonos értékeket mértünk. A G7G program (hosszabb hormonkezelés) kiegyenlítettebb hormonszintet eredményezett, sőt a nyári időszakban magasabb ösztadiol szintet produkált, ami a vemhesülési eredményekben is megmutatkozott, nyáron csak G7G programos tehén vemhesült.



39. ábra Az ösztadiol koncentráció alakulása a hormonprogram és a vemhesülés tekintetében

3.4.4.6. A vemhesült tehenek arányának alakulása

A vemhesülés arányának alakulását vizsgálva az évszak függvényében bebizonyosodott, hogy hősemleges időszakban mindkét hormon program eredményesebben működött (**40. ábra**).



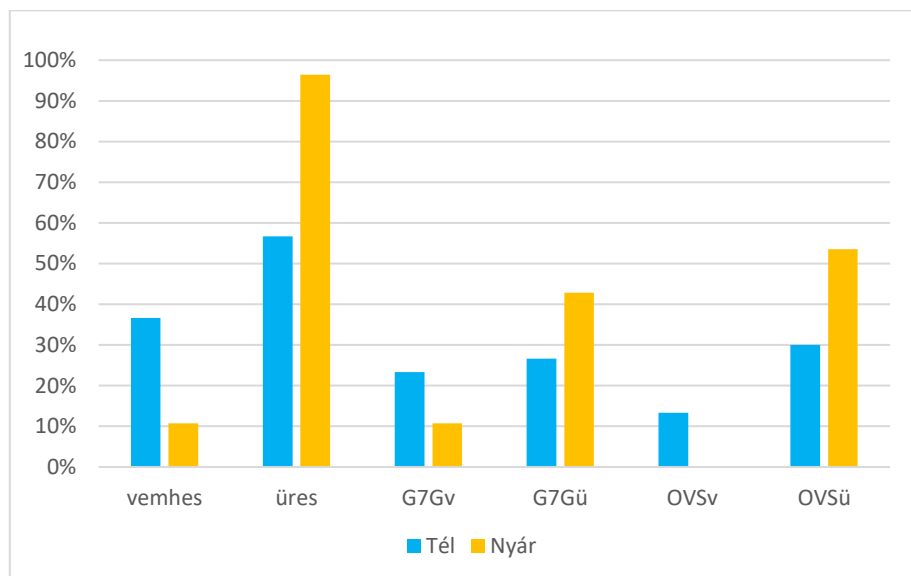
40. ábra A vemhesült tehenek és az évszak hatása

A G7G program esetében nem volt szignifikáns különbség ($p=0,552$) az évszak tekintetében (**16. táblázat**), míg az OVS programban résztvevő állatok közül szignifikánsan ($p=0,034$) több tehen vemhesült a hősemleges időszakban.

16. táblázat: Az évszak hatása a vemhes és üres tehenek számának alakulására

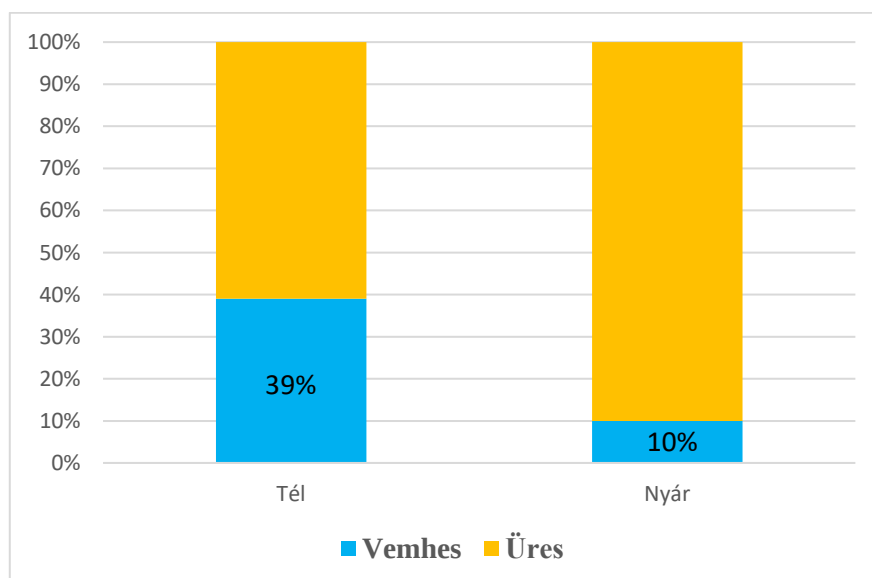
	Nyár	Tél	Az évszak hatása a vemhesülésre; p-érték
G7G			
vemhes	3	7	0.245
üres	12	8	
OVS			
vemhes	0	4	0.035
üres	15	9	

A nyári hőterhelt időszakban a vemhesülési eredmények jelentősen elmaradtak a hősemleges időszakhoz képest (**41. ábra**). A hőstressz megfelelő technológiai elemekkel kivédhető vagy nagy mértékben csökkenthető. Ez irányú fejlesztések nélkül egyre nagyobb veszteség fogja érni évről évre a gazdaságokat a szélsőséges hőhullámok és a hőségnapok számának növekedése miatt.



41. ábra: A vemhesülési eredmények alakulása G7G és OVS program mellett a kísérleti és kontroll csoportokban

A téli időszakban a vizsgálatban részt vevő állatok 39%-a vemhesült, míg a nyári időszakban ez az arány mindössze 10% volt (**42. ábra**); a vemhesült egyedek mind G7G hormonprogramban részesültek.



42. ábra: A vemhesülési eredmények százalékos eloszlása hőterhelt és hősemleges időszakban

3.4.5. Megbeszélés

Az ivarzás felismerése alapvetően befolyásolja a tejtermelő szarvasmarhák szaporodásbiológiai eredményeit és az állomány termelékenységét. Az egyedi sajátosságok az ivarzás időtartamában és intenzitásában természetesen, ugyanakkor a környezeti és menedzsmenttényezők szintén jelentős hatást gyakorolnak az ivarzási tünetek megjelenésére. A hőstressz (HS) idején különösen fontos a másodlagos jelek pl. aktivitás növekedés, nyálkaürítés, péra kipirulás, nyugtalanság, bőgés, agonizálás, követés, szaglászás, nyaldosási viselkedés megfigyelése és értékelése, mivel az ugrások gyakran elmaradnak vagy csendes ivarzás formájában jelenik meg. *Reith és Hoy (2018)* megállapította, hogy az ivarzást gyakran hirtelen csökkenő kérődzés, szárazanyag-felvétel, vízfogyasztás és tejtermelés is kísérheti. A hosszabb ideig fennálló HS jelentősen csökkenti a termékenységet, hormonális zavarokat idézhet elő, csökken az ösztadiol koncentráció, romlik a petesejtek minősége, és gyakoribbá válik az embrióelhalás.

A hőterhelés hatására a tehenek általános viselkedése is megváltozik, ami megnehezíti az ivarzás vizuális megfigyelést. Éjszaka mozognak többet, fekvési idejük napközben csökken, a legtöbb időt összeállva az istálló hűvösebb pontjain, valamint az itató körül töltik. *Senger (2003)* eredményei alapján a nagyobb tüszők magasabb ösztadiol-szintje intenzívebb ivarzási tüneteket okoz, viszont a HS alatt ennek ellenkezője tapasztalható. *Wolfenson et al. (2000)* szerint a magas hőmérséklet rontja az endometrium működését, míg *Schüller et al. (2017)* arra mutattak rá, hogy emelkedett THI esetén (≥ 63) az ivarzási váladék mennyisége csökken. Videófelvételek elemzése alapján megállapítottuk, hogy HS idején a tehenek főként éjszaka és hajnalban kezdtek mozogni, míg télen már a délutáni GnRH injekció után jelentkeztek az ivarzási jelek, ami hosszabb aktivitási időszakot jelentett. Az aktivitásmérő rendszerek segíthetnek a csendes ivarzás észlelésében, mivel ezek az eszközök az enyhébb mozgásváltozásokat is képesek rögzíteni. Az egyik legmegbízhatóbb tünet az ivarzási váladék, melynek mennyisége és konzisztenciája utalhat az ivarzás idejére, de igazán pontos információt az ivarzásjelző rendszerek időszávjai nyújthatnak, mely segít a legoptimálisabb termékenyítési időpont meghatározásában.

A hosszabb hormon programok, mint a G7G vagy DuplaOvsynch eredményesebbek lehetnek a HS időszakban, habár hatékonyságuk egyedenként eltérő lehet ahogy a hőstresszhez való alkalmazkodási képesség is. *De Rensis és Scaramuzzi (2003)*, valamint *Schüller et al. (2014)* szerint a hőstressz alatt az alap Ovsynch protokoll nem mindig javítja a vemhesülési arányt, ahogy a mi vizsgálatunk is igazolta, a nyári hőterhelt időszakban egy tehen sem vemhesült az OvSync-ban részesült tehenek közül. Kísérletünk során a G7G protokoll kiegyensúlyozottabb hormonstátuszt és stabilabb ösztadiol szintet biztosított nyáron is, ami növelte a sikeres vemhesülési arányt. A G7G programban részt vevő teheneknél mind nyáron, mind télen hasonló

ösztadiol szinteket mértünk, míg az OVS csoportban nyáron szignifikánsan alacsonyabb volt az érték. Fontos kiemelni, hogy az OVS csoport tehenei már többször termékenyítve voltak, ami befolyásolhatta az eredményeket. Bizonyos esetekben az ovuláció szinkronizálására irányuló programok alkalmazása indokolt lehet, ugyanakkor a reprodukciós teljesítmény optimalizálásában az automatizált aktivitás monitorozó rendszerek jelentik a leghatékonyabb megoldást. *Fricke et al.* (2014) hasonló gondolatokat közölt, miszerint az ovuláció szinkronizálás és az aktivitásjelző rendszerek kombinációja hatékony stratégia lehet a tehenek termékenyítésre való kiválasztásában. Hazai gyakorlati tapasztalatok alapján egészséges állomány esetén az állomány 15–20%-nál (repeat breeder tehenek) lehet szükség hormonális támogatásra, amennyiben biztosított a megfelelő takarmányozás, hűtés- és tartástechnológia. Ha az állatok igénye maximálisan ki van elégítve akkor a termoneutrális időszakhoz hasonló vemhesülési eredmények érhetők el. A hűtési rendszerek alkalmazása megakadályozza az állatok testhőmérsékletének jelentős emelkedését, elősegítve ezzel a hormonális és anyagcsere-egyensúly fenntartását. A kiegyenlített vemhesülési eredmények biztosításával elkerülhetők a hullámzó ellésszámok, ami hozzájárul a folyamatos, magas szintű tejtermeléshez és a gazdaság jövedelmezőségének fenntartásához. A jövő tejtermelő gazdaságainak feladata a fenntarthatóság, az ökológiai lábnyom csökkentése, valamint az adatvezérelt döntéshozatal és termelési hatékonyság növelése, különös figyelmet fordítva a hormonális és antibiotikus beavatkozások minimalizálására.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A szarvasmarha ágazat jövője számos tényezőtől függ, beleértve a gazdasági, környezeti és társadalmi változásokat. A fenntarthatóság kulcsfontosságú kérdés, amelyhez a kutatás és fejlesztés nélkülözhetetlen. A precíziós eszközök használatával optimalizálható az erőforrások felhasználása, ami hatékonyabb termelést tesz lehetővé. A digitális eszközök adatokat szolgáltatnak az állatok egészségügyi állapotáról, takarmányozási szükségleteiről és termelési mutatóiról, ezáltal segítik a szakemberek munkáját a gyorsabb és pontosabb döntéshozásban.

Kutatásunk a környezeti kihívásokra fókuszált azon belül is a hőstressz problémájára, mely évről évre súlyos veszteséget jelent a gazdaságok számára. Globálisan megfigyelhetők a gyakori hőhullámok és az extrém hőségnapok számának növekedése, mely állategészségügyi kockázattal és termelési veszteséggel jár. Kísérleteink során a hőstressz hatásait vizsgáltuk különböző életszakaszokban, így eredményeink többféle aspektusból világítják meg a beavatkozás fontosságát, annak érdekében, hogy állatjóléti és gazdasági szempontból is hatékonyan tudjon termelni az ágazat a hőterhelt időszakokban is.

A szarvasmarhák érzékenyen reagálnak a magas hőmérséklet és páratartalom együttes jelenlétére, mely több biológiai és fiziológiai okra vezethető vissza. Nagy testtömeg és testfelület arányuk korlátozza a hőleadást, verejtékezési képességük csekély, így légzésük fokozásával igyekeznek megszabadulni a többüregű gyomruk által folyamatosan termelődő metabolikus hőtől. Belső hőtermelésük minimalizálása érdekében az állatok hajlamosak a kevesebb takarmányfelvételre, ami energiahíányt és csökkent tejtermelést és fertilitást eredményez. A hőstressz nem csak az állatok anyagcseréjét, de hormonháztartását és az immunrendszer működését is befolyásolja. A tartósan magas kortizolszint gyengíti az immunválaszt csökkentve a szervezet védekezőképességét a fertőzések elleni, továbbá a szervezet gyulladásos válaszai károsíthatják a szöveteket és szerveket. Kutatásom során a hőstressz mérséklésre irányuló intézkedések jelentőségét igyekeztem hangsúlyozni, annak érdekében, hogy a tejtermelő tehenészetek minél kevesebb gazdasági veszteséggel tudják átvészelni a kritikus periódusokat, amihez a hatékony hűtésrendszerek mellett elengedhetetlen a megfelelő takarmányozás- és tartástechnológia.

A viselkedés- és élettani vizsgálataink eredménye hasznos információkkal szolgálhat a szarvasmarha ágazathoz kapcsolódó valamennyi kollégának, valamint precíziós eszközök továbbfejlesztéséhez, hogy minél pontosabb adatokat nyújtsanak a döntéstámogató rendszerek körében. Általuk a jövőben minden bizonnyal jelentősen kevesebb antibiotikum és hormonfelhasználással tudnak a tejtermelő tehenészetek kiváló minőségű élelmiszer alapanyagot előállítani a mai kor társadalmi igényeinek megfelelően.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A kiegészítő árnyékolás hatékonyan mérsékelte a hőstressz élettani és endokrin hatásait bikaborjakban. A hőstressz napon a rektális hőmérséklet mérsékelt szignifikáns ($r=0,44$; $p=0,046$), míg a légzésszám és a szívritmus szoros szignifikáns ($r=0,74$; $p=0,008$ valamint $r=0,63$; $p<0,001$) korelációt mutatott a meteorológiai paraméterekkel. Az árnyékolt csoportban szignifikánsan alacsonyabb kortizolszinteket tapasztaltunk a 12:00, 16:00 és 24:00 ($p<0,001$; $p<0,001$; $p=0,046$) órákor történő mintavételeknél.
2. A nagyobb légsebesség (1,5-2,8 vs. 0,2-0,8 m/s) hatékonyan csökkentette a tehenek testhőmérsékletét hőstresszben, a hüvelyben mért testhőmérséklet átlagosan 0,5 °C-kal alacsonyabb volt. A négy mintavételi időszakból háromban szignifikáns különbség mutatkozott a kísérleti és kontroll csoport között ($p=0,002$, $p=0,037$, $p=0,900$, $p<0,0001$). Az istállók területén egyenletesen elosztott 12 mérési pont alapján a számított átlagos légsebesség a kontroll istállóban $0,32 \pm 0,27$, míg a kísérleti istállóban $2,3 \pm 0,46$ m/s volt ($p < 0,001$).
3. Hőstressz időszakban az ellést megelőző aktivitás növekedés az egészséges és a beteg csoportra is jellemző volt, majd az ellést követő 4. napon az egészséges csoportnál visszatért a normál értékre, míg a beteg állatoknál szignifikánsan ($p<0,05$) magasabb volt és csak az 5.-7. napon normalizálódott. A kérődzési idő a tejelő tehenekre jellemző 7-8 órához képest az egészséges csoportnál is csak 5-6 óra, míg beteg állatoknál csupán 4-5 óra volt már az ellést megelőző napokban is, mely jelző értékű a posztpartum megbetegedés előfordulásának kockázatát tekintve.
4. A reticulorumen-hőmérséklet az ellés körül a hőstressz ellenére is fiziológiásan csökkent mindkét csoportnál, szignifikáns ($p < 0,0001$) összefüggést mutatott az ellésig hátralévő és az ellés utáni napok számával valamint a THI-vel. A kérődzési időt szignifikánsan ($p < 0,0001$) befolyásolta az ellés körüli napok száma, a posztpartum problémák jelenléte, valamint a hőmérséklet-páratartalom index ($p=0,029$).
5. A G7G protokoll hatékonyabbnak bizonyult a rövidebb OvSynch programhoz képest a nyári hőstresszes időszakban, azáltal hogy stabilabb ösztadiol szintet biztosított (G7G átlag 35,2 pg/ml (min. 27,6 ; max. 42,9) ; OVS 20,7 pg/ml (min. 13,0 ; max. 28,3) és magasabb vemhesülési arányt (G7G 39% ; OVS 10%) eredményezett.

6. A hőstressz jelentősen csökkentette az ivarzási tünetek kifejeződését és intenzitását, különösen az ugrások és álló ivarzási események számát. A hősemleges időszakban átlagosan $10,4 \pm 12,4$ ugrás/tehén, míg hőstresszben csupán $2,1 \pm 4,0$ ugrás/tehén történt a termékenyítést megelőző 12 órában. Az időbeli eloszlást tekintve nyáron csak a reggeli fejés körül a hajnali órákban ugrálták egymást, míg télen már a délutáni GnRH oltást követően aktív ivarzási jeleket mutattak, azaz jelentősen hosszabb időintervallum állt rendelkezésre az ivarzás felismerésére.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A globális klímaváltozás következményeként hazánk tejtermelő szarvasmarha állománya is egyre nagyobb mértékben van kitéve a nyári hőstressz negatív hatásainak, mely nem csupán az aktuális termelést, hanem az állatok hosszú távú egészségi állapotát és termelési potenciálját is hátrányosan befolyásolja. A globális népességnövekedés és a tudatos fogyasztói elvárások egyre magasabb állatjólléti és élelmiszerbiztonsági standardokat követelnek meg a teljes termékpályán, a "from farm to fork" elv mentén. A több évtizedes tenyésztői munka eredményeként világszínvonalú termelési eredményekkel rendelkező tejtermelő gazdaságok működnek hazánkban is, azonban számos telepen a technológiai háttér fejletlensége nem teszi lehetővé a genetikai potenciál teljes kihasználását.

A borjak immunrendszere életük első heteiben még fejletlen. Tartós hőstressz hatására fejlődésükben zavarok következhetnek be pl. elégtelen napi testtömeggyarapodás vagy nem megfelelő tüdőszövet alakulás, mely hosszú távú károkat okozhatnak. Viselkedés-és élettani vizsgálataink eredményei megerősítik, hogy árnyékolással csökkenthetjük a hőstressz kedvezőtlen hatásait mely fontos a borjak jóllétének és egészségének megőrzéséhez a nyári hónapokban. A szívfrekvencia és légzésszám hasznos, nem-invazív eszköz lehet a hőstressz korai észlelésére, és segíthet a célzott védekezési intézkedések bevezetésében.

A magas termelésű tehenek különösen érzékenyek a hőstresszre a fokozott metabolikus hőtermelésük miatt. Vizsgálatunk megerősítette, hogy a nyári időszakban a tejelő tehenek tartós hőstressznek vannak kitéve, amely kedvezőtlenül befolyásolja élettani állapotukat és tejtermelésüket. A megnövelt légsebesség a kísérleti istállóban jelentős javulást eredményezett a hőkomfortban, amit az alacsonyabb testhőmérséklet és a szignifikánsan magasabb tejtermelés is alátámasztott (napi +3 liter/tehen). A célzott hűtési technológiák alkalmazása hatékony eszköz a hőstressz negatív hatásainak csökkentésére, amely nemcsak állatjólléti, hanem gazdasági szempontból is indokolt.

Az ellés körüli időszak a tehenek életciklusának legkritikusabb szakasza, ekkor jelenik meg a legtöbb tranzíciós megbetegedés. A szárazonállás alatti hőkomfort kiemelten fontos, mivel nemcsak az anyaállat, hanem az utód fejlődésére is hatással van, ennek ellenére ez a csoport sok esetben nem kap kellő figyelmet. A precíziós szenzoralapú monitoring rendszerek hatékony eszközt jelenthetnek a periparturient időszakban jelentkező betegségek korai detektálására.

A kérődzési idő csökkenése már az ellést megelőzően is megfigyelhető volt a később megbetegedett tehenek esetében, a reticulorumen-hőmérséklet ellés előtti csökkenése elsősorban fiziológiás változásra utalt, míg az aktivitás fokozódása a beteg állatoknál tartósabban fennmaradt, jelezve a diszkomfortot és stresszreakciót. A tehenek következő laktációra való megfelelő felkészítése, különösen az immunrendszerük támogatása, kulcsfontosságú az anyagforgalmi és szaporodásbiológiai zavarok megelőzése szempontjából.

A tejtermelő telepek jövedelmezőségének alapja a kiváló reprodukció, amely közvetlen indikátora az állatok komfortjának és jóllétének. Az ivarzó egyedek pontos azonosítása és időben történő termékenyítése kulcsfontosságú, melyben az ivarzásmegfigyelő rendszerek kiemelt szerepet töltenek be. Vizsgálatunk eredményei megerősítik, hogy a nyári hőterhelt időszakban az ösztadiol-szint csökken, az ivarzási tünetek kevésbé kifejezettek, ami nehezíti a természetes megfigyelést, és ronthatja a termékenyítés időzítésének pontosságát. A hagyományos Ovsynch protokoll a hőstresszes időszakban nem bizonyult hatékornak, míg a G7G program stabilabb hormonális környezetet biztosított, ami hozzájárult a jobb reprodukciós eredményekhez. Az automatizált aktivitásmérő rendszerek nagy segítséget nyújthatnak a csendes ivarzás felismerésében, különösen hőterhelés esetén, amikor az állatok viselkedésmintázata jelentősen megváltozik. A megfelelő hűtés, komfort és takarmányozás biztosítása alapfeltétele a hormonális egyensúly fenntartásának, így ezek elengedhetetlen a jó szaporodásbiológiai eredményekhez.

Napjainkban a hormon- és antibiotikum felhasználás csökkentése nemzetközi szinten is prioritást élvez. A hatékony, versenyképes tejtermelés ma már nem csupán gazdasági kérdés, hanem szorosan kapcsolódik a környezeti, társadalmi és fenntarthatósági elvárásokhoz. A jövő tejtermelő gazdaságainak sikere a precíziós takarmányozásra, a korszerű tartástechnológiára, a döntéstámogató rendszerekre és magas színvonalú menedzsmentre épül.

7. SUMMARY

As a consequence of global climate change, the dairy cattle population is increasingly exposed to the negative effects of summer heat stress, which adversely affects not only current production levels but also the long-term health and productive potential of the animals. In parallel, global population growth and increasing consumer expectations are driving the demand for higher standards of animal welfare and food safety throughout the entire production chain, in line with the "from farm to fork" principle. Decades of selective breeding have led to the establishment of world-class dairy farms in Hungary, yet in many cases, underdeveloped technological infrastructure prevents the full utilisation of genetic potential.

During the first weeks of life, calves have an immature immune system. Prolonged heat stress can disrupt their development, leading to issues such as insufficient daily weight gain or inadequate mammary tissue development, which may cause long-term damage. Our behavioural and physiological studies confirm that shading can reduce the adverse effects of heat stress, which is crucial for maintaining the welfare and health of calves during the summer months. Heart rate and respiratory rate can serve as useful, non-invasive tools for the early detection of heat stress, facilitating the implementation of targeted mitigation measures.

High-producing dairy cows are particularly sensitive to heat stress due to increased metabolic heat production. Our research confirmed that during the summer, dairy cows are subjected to persistent heat stress, which negatively impacts their physiological state and milk production. Increased air velocity in the experimental barn significantly improved thermal comfort, as evidenced by lower body temperatures and a significantly higher milk yield (+3 litres per cow per day). The application of targeted cooling technologies is an effective tool to mitigate the negative effects of heat stress, justified not only from an animal welfare perspective but also in terms of economic efficiency.

The periparturient period is the most critical stage in the life cycle of a dairy cow, when the majority of transition-related diseases occur. Thermal comfort during the dry period is of paramount importance, as it affects both the dam and the development of the offspring. Nonetheless, this group often receives insufficient attention. Precision sensor-based monitoring systems can serve as effective tools for early disease detection during the periparturient period. A reduction in rumination time was observed even before calving in cows that later became ill. A decrease in reticulorumen temperature prior to calving primarily indicated physiological changes, whereas increased activity in sick animals persisted longer, signalling discomfort and stress.

Proper preparation for the next lactation, particularly by supporting the immune system, is key to preventing metabolic and reproductive disorders.

Excellent reproduction is the cornerstone of profitability in dairy farms, serving as a direct indicator of animal comfort and welfare. The accurate identification of oestrous animals and timely insemination are crucial, with estrus detection systems playing a pivotal role. Our findings confirm that during the heat-stressed summer period, estradiol levels decrease and oestrous signs become less pronounced, making natural observation more difficult and impairing the precision of insemination timing. The traditional Ovsynch protocol proved ineffective under heat stress conditions, whereas the G7G program provided a more stable hormonal environment, contributing to improved reproductive performance. Automated activity monitoring systems can greatly aid in the detection of silent heats, particularly during periods of heat load when behavioural patterns are significantly altered. Ensuring adequate cooling, comfort, and feeding conditions is essential to maintain hormonal balance and therefore crucial for achieving optimal reproductive outcomes.

Nowadays, reducing the use of hormones and antibiotics is a global priority. Efficient and competitive milk production is no longer merely an economic issue; it is closely tied to environmental, social, and sustainability expectations. The success of future dairy farms will depend on precision feeding, advanced milking and barn technologies, decision-support systems, and high-quality management practices.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Acatincai, S., Gavojdian, D., Stanciu, G., Csiszter, L., Tripon, T. I., & Baul, S. (2010). Study regarding rumination behavior in cattle: Position adopted by cows during rumination process. *Animal Science and Biotechnologies*, 43, 199–202.
- Agnes, F., Sartorelli, P., Abdi, B. H., & Locatelli, A. (1990). Effect of transport loading or noise on blood biochemical variables in calves. *American Journal of Veterinary Research*, 51, 1679–1681.
- Ahmed, A., Tiwari, R., Mishra, G., Jena, B., Dar, M., & Bhat, A. (2015). Effect of environmental heat stress on reproduction performance of dairy cows – A review. *International Journal of Livestock Research*, 5, 10–18.
- Allen, J. D., Hall, L. W., Collier, R. J., & Smith, J. F. (2015). Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 118–127.
- Almuhanna, E. A., Gamea, G. R., Osman, O. E., & Almahdi, F. M. (2021). Performance of roof-mounted misting fans to regulate heat stress in dairy cows. *Journal of Thermal Biology*, 99, 102984.
- Ammer, S., Lambertz, C., & Gauly, M. (2016). Is reticular temperature a useful indicator of heat stress in dairy cattle? *Journal of Dairy Science*, 99, 10067–10076.
- Angrecka, S., & Herbut, P. (2016). Impact of barn orientation on insolation and temperature of stalls surface. *Annals of Animal Science*, 16, 887–896.
- Antanaitis, R., Juozaitienė, V., Malašauskienė, D., & Televičius, M. (2020). Can reticulorumen pH, temperature and cow activity registered before calving act as biomarkers of diseases after calving? *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 23, 221–227.
- Appuhamy, R. (2021). The effect of diurnal heat stress in dairy heifer calves. *Iowa State University Animal Industry Report*, 17(1), 13828.
- Archana, P. R., Aleena, J., Pragna, P., Vidya, M. K., Abdul Niyas, P. A., Bagath, M., Krishnan, G., Manimaran, A., Beena, V., Kurien, E. K., Sejian, V., & Bhatta, R. (2017). Role of heat shock proteins in livestock adaptation to heat stress. *Journal of Dairy, Veterinary and Animal Research*, 5(1), 00127.
- Armstrong, D. V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, 77(7), 2044–2050.
- Badri, T.M., Chen, K.L., Alsiddig, M.A., Li, L., Cai, Y., Wang, G.L. 2018. Genetic polymorphism in Hsp90AA1 gene is associated with the thermotolerance in Chinese Holstein cows. *Cell Stress Chaperones*. 23, 639-651.
- Bajagai, Y. S. (2011). Global climate change and its impacts on dairy cattle. *Nepalese Veterinary Journal*, 30, 2–16.

- Bak, J., & Pazsiczki, I. (2004). Szarvasmarha istállók természetes szellőztetése. *FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Szaktanácsadási Füzetek, Gödöllő*, 27.
- Bak, J., & Pazsiczki, I. (2008). Tehénnedvesítéses hőstresszmérséklés, módszerek, hatékonyság. *Animal Welfare, Etológia és Tartástechnológia*, 4, 69–77.
- Bak, J., Barkóczi, T., Fenyvesi, L., & Pazsiczki, I. (2007). Tehénistállók tartástechnológiai korszerűsítésének követelményei. *Mezőgazdasági Gépesítési Tanulmányok*. http://www.fvmmi.hu/file/document/kut/792_tehenistallo.pdf
- Bakony, M., & Jurkovich, V. (2020). Heat stress in dairy calves from birth to weaning. *Journal of Dairy Research*, 87(S1), 53–59.
- Bakony, M., Könyves, L., Hejel, P., Kovács, L., & Jurkovich, V. (2019). Hőstressz tejlő tehénekben I. A tejtermelés-csökkenés hátterében álló élettani tényezők – Irodalmi összefoglaló. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 141, 341–350.
- Bakony, M., Kovács, L., Kézér, L. F., & Jurkovich, V. (2023). The use of body surface temperatures in assessing thermal status of hutch-reared dairy calves in shaded and unshaded conditions. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1162708.
- Bannikov, G., Hinds, C., Rajala-Schultz, P., Premanandan, C., Rings, D., & Lakritz, J. (2011). Serum haptoglobin–matrix metalloproteinase 9 (Hp-MMP 9) complex as a biomarker of systemic inflammation in cattle. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 139, 41–49.
- Bar, D., Kaim, M., Flamenbaum, I., Hanochi, B., & Toaff-Rosenstein, R. L. (2019). Technical note: Accelerometer-based recording of heavy breathing in lactating and dry cows as an automated measure of heat load. *Journal of Dairy Science*, 102, 3480–3486.
- Barrier, A. C., Haskell, M. J., Macrae, A. I., & Dwyer, C. M. (2012). Parturition progress and behaviours in dairy cows with calving difficulty. *Applied Animal Behaviour Science*, 139, 209–217.
- Beauchemin, K. A. (2018). Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101, 4762–4784.
- Berman, A. J. (2005). Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science*, 83, 1377–1384.
- Berman, A., Folman, Y., Kaim, M., Mamen, M., Herz, Z., Wolfenson, D., Arieli, A., & Graber, Y. (1985). Upper critical temperature and forced ventilation effects for high-yielding dairy cattle in a subtropical climate. *Journal of Dairy Science*, 68, 1488–1495.
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., & Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4, 1167–1183.
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Ronchi, B., & Nardone, A. (2002). Effects of the hot season on milk protein fractions in Holstein cows. *Animal Research*, 51, 25–33.
- Bianca, W. (1958). The relation between respiratory rate and heart rate in the calf subjected to severe heat stress. *Journal of Agricultural Science*, 51, 321–324.

- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1995a). Calculating correlation coefficients with repeated observations: Part 1 – correlation within subjects. *BMJ*, 310, 446.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1995b). Calculating correlation coefficients with repeated observations: Part 2 – correlation between subjects. *BMJ*, 310, 633.
- Bohmanova, J., Misztal, I., & Cole, J. B. (2007). Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 90, 1947–1956.
- Bonk, S., Burfeind, O., Suthar, V. S., & Heuwieser, W. (2013). Technical note: Evaluation of data loggers for measuring lying behavior in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 96, 3265–3271.
- Braun, H. S., Schrapers, K. T., Mahlkow-Nerge, K., Stumpff, F., & Rosendahl, J. (2019). Dietary supplementation of essential oils in dairy cows: Evidence for stimulatory effects on nutrient absorption. *Animal*, 13(3), 518–523.
- Broucek, J., Kisac, P., & Uhrincat, M. (2009). Effect of hot temperatures on the hematological parameters, health and performance of calves. *International Journal of Biometeorology*, 53, 201–208.
- Brouk, M. J., Smith, J. F., & Harner, J. P. (2001). Efficiency of modified evaporative cooling in Midwest dairy freestall barns. In *Livestock and Environment VI: Proceedings of the 6th International Symposium* (pp. 412–418). ASAE, Louisville, KY.
- Brouk, M. J., Smith, J. F., Harner, J. P., Pulkrabek, B. J., McCarty, D. T., & Shirley, J. E. (1999). Performance of lactating dairy cattle housed in two-row freestall barns equipped with three different cooling systems. *Dairy Day Report of Progress* 842. Kansas State University.
- Brügemann, K., Gernand, E., von Borstel, U. U., & König, S. (2011). Genetic analyses of protein yield in dairy cows applying random regression models with time-dependent and temperature $\times$ humidity-dependent covariates. *Journal of Dairy Science*, 94, 4129–4139.
- Burdick, N. C., Carroll, J. A., Dailey, J. W., Randel, R. D., Falkenberg, S. M., & Schmidt, T. B. (2012). Development of a self-contained, indwelling vaginal temperature probe for use in cattle research. *Journal of Thermal Biology*, 37, 339–343.
- Burfeind, O., von Keyserlingk, M. A. G., Weary, D. M., Veira, D. M., & Heuwieser, W. (2010). Short communication: Repeatability of measures of rectal temperature in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93, 624–627.
- Calamari, L., Soriani, N., Panella, G., Petrera, F., Minuti, A., & Trevisi, E. (2014). Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. *Journal of Dairy Science*, 97, 3635–3647.
- Calegari, F., Calamari, L., & Frazzi, E. (2012). Misting and fan cooling of the rest area in a dairy barn. *International Journal of Biometeorology*, 56, 287–295.
- Cantor, M., Costa, J., & Bewley, J. (2018). Impact of observed and controlled water intake on reticulorumen temperature in lactating dairy cattle. *Animals*, 8(11), 194.

- Carraway, K., Brauneis, M., Engwall, N., & Fain, J. (2013). Rumination monitoring: A management tool for early detection of metabolic disorders. *Journal of Dairy Science*, 96(E-Suppl. 1), 180.
- Chatterjee, A., Thirumeignanam, D., & Singh, A. K. (2012). Heat stress in dairy: Heat stress takes toll on dairy animal. *Engormix*. <http://en.engormix.com/MA-dairy-cattle/management/articles/heat-stressin-dairy-t2165/124-p0.htm>
- Chebel, R. C., Santos, J. E. P., Reynolds, J. P., Cerri, R. L. A., Juchem, S. O., & Overton, M. (2004). Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 84, 239–255.
- Chen, J. M., Schütz, K. E., & Tucker, C. B. (2013). Dairy cows use and prefer feed bunks fitted with sprinklers. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 5035–5045.
- Choi, S. H., Chung, S. S., & Park, K. S. (2018). Re-highlighting the action of PPAR γ in treating metabolic diseases. *F1000Research*, 7, 1127.
- Chung, H., Li, J., Kim, Y., Van Os, J. M. C., Brounts, S. H., & Choi, C. Y. (2020). Using implantable biosensors and wearable scanners to monitor dairy cattle's core body temperature in real-time. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105453.
- Cocco, R., Canozzi, M. E. A., & Fischer, V. (2021). Rumination time as an early predictor of metritis and subclinical ketosis in dairy cows at the beginning of lactation: Systematic review and meta-analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, 189, 105309.
- Cole, N. A., Camp, T. H., Rowe, L. D., Stevens, D. G., & Hutcheson, D. P. (1988). Effect of transport on feeder calves. *American Journal of Veterinary Research*, 49, 178–183.
- Collier, R. J., & Collier, J. L. (2008). Genes involved in the bovine heat stress response. *Journal of Dairy Science*, 91, 445–454.
- Collier, R. J., Coppola, C., & Wolfgram, A. (2003). Novel approaches for the alleviation of climatic stress in farm animals. In N. Lacetera, U. Bernabucci et al. (Eds.), *Interactions between climate and animal production* (EAAP Technical Series Vol. 7, pp. 61–72). Wageningen Academic Publishers.
- Collier, R. J., Eley, R. M., Sharma, A. K., Pereira, R. M., & Buffington, D. E. (1981). Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science*, 64, 844–849.
- Cook, N. B., Mentink, R. L., Bennett, T. B., & Burgi, K. (2007). The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90, 1674–1682.
- Cook, N. J. (2012). Review: Minimally invasive sampling media and the measurement of corticosteroids as biomarkers of stress in animals. *Canadian Journal of Animal Science*, 92, 227–259.
- Dado-Senn, B., Dahl, G. E., Quellet, V., & Laporta, J. (2020). Methods for assessing heat stress in preweaned dairy calves exposed to chronic heat stress or continuous cooling. *Journal of Dairy Science*, 103, 1–15.

- Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., Imtiwati, & Kumar, R. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary World*, 9, 260–268.
- De Rensis, F., & Scaramuzzi, R. J. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—A review. *Theriogenology*, 60, 1139–1151.
- De Rensis, F., Garcia-Ispuerto, I., & López-Gatius, F. (2015). Seasonal heat stress: Clinical implications and hormone treatments for the fertility of dairy cows. *Theriogenology*, 84, 659–666.
- Debnath, T., Bera, S., Pal, P., Debbarma, N., & Haldar, A. (2017). Application of radio frequency-based digital thermometer for real-time monitoring of dairy cattle rectal temperature. *Veterinary World*, 10, 1052–1056.
- Dhabhar, F. S. (2000). Acute stress enhances while chronic stress suppresses skin immunity: The role of stress hormones and leukocyte trafficking. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 917, 876–893.
- Dikmen, S., & Hansen, P. J. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, 92, 109–116.
- Dikmen, S., Cole, J. B., Null, D. J., & Hansen, P. J. (2012). Heritability of rectal temperature and genetic correlations with production and reproduction traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95, 3401–3405.
- Dikmen, S., Larson, C. C., De Vries, A., & Hansen, P. J. (2020). Effectiveness of tunnel ventilation as dairy cow housing in hot climates: Rectal temperatures during heat stress and seasonal variation in milk yield. *Tropical Animal Health and Production*, 52(5), 2687–2693.
- do Amaral, B. C., Connor, E. E., Tao, S., Hayen, J., Bubolz, J., & Dahl, G. E. (2009). Heat-stress abatement during the dry period: Does cooling improve transition into lactation? *Journal of Dairy Science*, 92, 5988–5999.
- Dovolou, E., Giannoulis, T., Nanas, L., & Amiridis, G. S. (2023). Review: Heat stress: A serious disruptor of the reproductive physiology of dairy cow. *Animals*, 13, 1846.
- Dragland, S., Senoo, H., Wake, K., Holte, K., & Blomhoff, R. (2003). Several culinary and medicinal herbs are important sources of dietary antioxidants. *Journal of Nutrition*, 133, 1286–1290.
- Edwards, J. L., & Hansen, P. J. (1997). Differential responses of bovine oocytes and preimplantation embryos to heat shock. *Molecular Reproduction and Development*, 46, 138–145.
- Fang, H., Kang, L., Abbas, Z., Hu, L., Chen, Y., Tan, X., Wang, Y., & Xu, Q. (2021). Identification of key genes and pathways associated with thermal stress in peripheral blood mononuclear cells of Holstein dairy cattle. *Frontiers in Genetics*, 12, Article 662080.

- Flanagan, S. W., Ryan, A. J., Gisolfi, C. V., & Moseley, P. L. (1995). Tissue-specific HSP70 response in animals undergoing heat stress. *American Journal of Physiology*, 1(Pt 2), R28–R32.
- Fox, L., Butler, W. R., Everett, R. W., & Natzke, R. P. (1981). Effect of adrenocorticotropin on milk and plasma cortisol and prolactin concentrations. *Journal of Dairy Science*, 64, 1794–1803.
- Fregonesi, J. A., & Leaver, J. D. (2001). Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in strawyard or cubicle systems. *Livestock Production Science*, 68, 205–216.
- Fricke, P. M., Giordano, J. O., Valenza, A., Lopes Jr., G., Amundson, M. C., & Carvalho, P. D. (2014). Reproductive performance of lactating dairy cows managed for first service using timed artificial insemination with or without detection of estrus using an activity-monitoring system. *Journal of Dairy Science*, 97, 2771–2781.
- Galán, E., Llonch, P., Villagrà, A., Levit, H., Pinto, S., & Del Prado, A. (2018). A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. *PLoS ONE*, 13(11), e0206520.
- Gao, S. T., Guo, J., Quan, S. Y., Nan, X. M., Fernandez, M. S., Baumgard, L. H., et al. (2017). The effects of heat stress on protein metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 5040–5049.
- García-Ispuerto, I., De Rensis, F., Pérez-Salas, J. A., Nunes, J. M., Pradés, B., Serrano-Pérez, B., & López-Gatius, F. (2019). The GnRH analogue dephereline given in a fixed-time AI protocol improves ovulation and embryo survival in dairy cows. *Research in Veterinary Science*, 122, 170–174.
- García-Ispuerto, I., López-Gatius, F., Santolaria, P., Yániz, J. L., Nogareda, C., López-Béjar, M., & De Rensis, F. (2006). Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle. *Theriogenology*, 65, 799–807.
- Garner, J. B., Chamberlain, A. J., Vander Jagt, C., Nguyen, T. T. T., Mason, B. A., Maret, B. A., Leury, B. J., Wales, W. J., & Hayes, B. J. (2020). Gene expression of the heat stress response in bovine peripheral white blood cells and milk somatic cells in vivo. *Scientific Reports*, 10, 19181.
- Gaughan, J. B., Holt, S. M., Hahn, G. L., Mader, T. L., & Eigenberg, R. A. (2000). Respiration rate—Is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 13, 329–332.
- Gaughan, J., Lacetera, N., Valtorta, E., Khalifah, H. H., Hahn, L., & Mader, T. (2009). Response of domestic animals to climate challenges. In K. L. Ebi, I. Burton, & G. R. McGregor (Eds.), *Biometeorology for adaptation to climate variability and change* (pp. 131–170). Springer.
- Gernand, E., König, S., & Kipp, C. (2019). Influence of on-farm measurements for heat stress indicators on dairy cow productivity, female fertility, and health. *Journal of Dairy Science*, 102, 6660–6671.

Gobert, M., Martin, B., Ferlay, A., Chilliard, Y., Graulet, B., Pradel, P., Bauchart, D., & Durand, D. (2009). Plant polyphenols associated with vitamin E can reduce plasma lipoperoxidation in dairy cows given n-3 polyunsaturated fatty acids. *Journal of Dairy Science*, 92, 6095–6104.

Graf, A., Krebs, S., Zakhartchenko, V., Schwalb, B., Blum, H., & Wolf, E. (2014). Fine mapping of genome activation in bovine embryos by RNA sequencing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, 4139–4144.

Grant, R., & Albright, J. (2001). Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 84, E156–E163.

Guenther, M. C., Davidson, B. D., Savegnago, C. G., Halbach, C. E., Alves, A. A. C., Tao, S., Laporta, J. (2025) Validation of a positive pressure tube ventilation system for heat abatement of outdoor preweaning dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, in press. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26747>

Gwazdauskas, F. C., Thatcher, W. W., Kiddy, C. A., Pape, M. J., & Wilcox, C. J. (1981). Hormonal pattern during heat stress following PGF α -tham salt induced luteal regression in heifers. *Theriogenology*, 16, 271–285.

Hall, D. M., Oberley, T. D., Moseley, P. M., Buettner, G. R., Oberley, L. W., Weindruch, R., & Kregel, K. C. (2000). Caloric restriction improves thermotolerance and reduces hyperthermia-induced cellular damage in old rats. *FASEB Journal*, 1, 78–86.

Hammami, H., Bormann, J., M'hamdi, N., Montaldo, H. H., & Gengler, N. (2013). Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. *Journal of Dairy Science*, 96, 1844–1855.

Hammon, D. S., Evjen, I. M., Dhiman, T. R., Goff, J. P., & Walters, J. L. (2006). Neutrophil and energy status in Holstein cows with uterine health disorders. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 113, 21–29.

Hansen, P. J. (1997). Strategies for enhancing reproduction of lactating dairy cows exposed to heat stress. In *Proceedings of the 16th Annual Convention American Embryo Transfer Association* (pp. 62–72). Madison.

Hansen, P. J. (2009). Effects of heat stress on mammalian reproduction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1534), 3341–3350.

Hansen, P. J. (2013). Cellular and molecular basis of therapies to ameliorate effects of heat stress on embryonic development in cattle. *Animal Reproduction*, 10, 322–333.

Hansen, P. J. (2019). Reproductive physiology of the heat-stressed dairy cow: Implications for fertility and assisted reproduction. *Animal Reproduction*, 16(3), 497–507.

Heimbürge, S., Kanitz, E., & Otten, W. (2019). The use of hair cortisol for the assessment of stress in animals. *General and Comparative Endocrinology*, 270, 10–17.

Hejel, P., Jurkovich, V., Bognár, B., Kovács, P., Brydl, E., & Könyves, L. (2019). Az oxidatív stressz jelentősége és a monitoring lehetősége tejhasznú szarvasmarha-állományokban. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 141(8), 471–480.

Hernández-Cordero, A., Sánchez-Castro, M., Zamorano-Algandar, R., Luna, P., Rincon, G., Medrano, J., Speidel, S., Enns, R., Thomas, M. 2017. Genotypes within the prolactin and growth hormone insulin-like growth factor-I pathways associated with milk production in heat stressed Holstein cattle. *Genet. Mol. Res.* 16. <https://doi.org/10.4238/gmr16039821>

Herskin, M. S., Munksgaard, L., & Ladewig, J. (2004). Effects of acute stressors on nociception, adrenocortical responses and behavior of dairy cows. *Physiology & Behavior*, 83, 411–420.

Hicks, L. C., Hicks, W. S., Bucklin, R. A., Shearer, J. K., Bray, D. R., Soto, P., & Carvalho, V. (2001). Comparison of methods of measuring deep body temperatures of dairy cows. In *Proceedings of the 6th International Symposium*, Louisville, KY, USA, May 21–23 (pp. 432–438).

Hillman, P. E., Gebremedhin, K. G., Willard, S. T., Lee, C. N., & Kennedy, A. D. (2009). Continuous measurements of vaginal temperature of female cattle using a data logger encased in a plastic anchor. *Applied Engineering in Agriculture*, 25, 291–296.

Hoffmann, G., Herbut, P., Pinto, S., Heinicke, J., Kuhla, B., & Amon, T. (2020). Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows. *Biosystems Engineering*, 199, 83–96.

Hoffmann, G., Silpa, M. V., Mylostyvyi, R., & Sejian, V. (2021). Non-invasive methods to quantify the heat stress response in dairy cattle. In V. Sejian, S. S. Chauhan, C. Devaraj, P. K. Malik, & R. Bhatta (Eds.), *Climate change and livestock production: Recent advances and future perspectives* (pp. 85–98). Springer.

Hu, H., Zhang, Y., Zheng, N., Cheng, J., & Wang, J. (2016). The effect of heat stress on gene expression and synthesis of heat-shock and milk proteins in bovine mammary epithelial cells. *Animal Science Journal*, 87, 84–91.

Hu, L., Fang, H., Abbas, Z., Brito, L. Z., Wang, Y., & Xu, Q. (2024). The HSP90AA1 gene is involved in heat stress responses and its functional genetic polymorphisms are associated with heat tolerance in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 107(7), 5132–5149.

Humer, E., Ghareeb, K., Harder, H., Mickdam, E., Khol-Parisini, A., & Zebeli, Q. (2015). Peripartur changes in reticulorumenal pH and temperature in dairy cows differing in the susceptibility to subacute rumen acidosis. *Journal of Dairy Science*, 98, 8788–8799.

Húsvéth, F. (Ed.). (2000). *A gazdasági állatok élettana az anatómia alapjaival* (pp. 109–110). Mezőgazda Kiadó.

Idris, M., Uddin, J., Sullivan, M., McNeill, D. M., & Phillips, C. J. C. (2021). Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. *Animals*, 11(1), 71.

Igono, M. O., Bjotvedt, G., & Sanford-Crane, H. T. (1992). Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *International Journal of Biometeorology*, 36, 77–87.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Palaeoclimate. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, & H. L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the*

Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 433–497). Cambridge University Press.

Isaac, A., Ibrahim, Y., Andrew, A., Edward, D., & Solomon, A. (2017). The cortisol steroid levels as a determinant of health status in animals. *Journal of Proteomics & Bioinformatics*, 10, 277–283.

Ito, T., Aoki, N., Tsuchiya, A., Kaneko, S., Akiyama, K., Uetake, K., & Suzuki, K. (2017). Detection of stress hormone in the milk for animal welfare using QCM method. *Journal of Sensors*, 2017, 6486891.

Iwasaki, W., Ishida, S., Kondo, D., Ito, Y., Tateno, J., & Tomioka, M. (2019). Monitoring of the core body temperature of cows using implantable wireless thermometers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104849.

Jara, I. E., Keim, J. P., & Arias, R. A. (2016). Behaviour, tympanic temperature and performance of dairy cows during summer season in southern Chile. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 48, 113–118.

Jensen, M. B. (2012). Behaviour around the time of calving in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 139, 195–202.

Ji, B., Banhazi, T., Ghahramani, A., Bowtell, L., Wang, C., & Li, B. (2020). Modelling of heat stress in a robotic dairy farm. Part 4: Time constant and cumulative effects of heat stress. *Biosystems Engineering*, 199, 73–82.

Ji, B., Wang, C., Banhazi, T. M., & Li, B. (2017). PLF technologies: Model development for solving heat stress problems on dairy farms. In *Proceedings of the 8th European Conference on Precision Livestock Farming*, Nantes, France.

Jonsson, N. N., Kleen, J. L., Wallace, R. J., Andonovic, I., Michie, C., Farish, M., Mitchell, M., Duthie, C.-A., Jensen, D. B., & Denwood, M. J. (2019). Evaluation of reticulorumen pH measurements from individual cattle: Sampling strategies for the assessment of herd status. *Veterinary Journal*, 243, 26–32.

Jungbauer, S., & Medjakovic, S. (2012). Anti-inflammatory properties of culinary herbs and spices that ameliorate the effects of metabolic syndrome. *Maturitas*, 71, 227–239.

Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., & Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science*, 77, 59–91.

Kaufman, J. D., Saxton, A. M., & Ríus, A. G. (2018). Short communication: Relationships among temperature-humidity index with rectal, udder surface, and vaginal temperatures in lactating dairy cows experiencing heat stress. *Journal of Dairy Science*, 101, 6424–6429.

Khiaosa-ard, R., & Zebeli, Q. (2013). Meta-analysis of the effects of essential oils and their bioactive compounds on rumen fermentation characteristics and feed efficiency in ruminants. *Journal of Animal Science*, 91, 1819–1830.

Kilgour, R. (2012). In pursuit of “normal”: A review of the behaviour of cattle at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, 138, 1–11.

- Kim, W. S., Lee, J. S., Jeon, S. W., Peng, D. Q., Kim, Y. S., Bae, M. H., Jo, Y. H., & Lee, H. G. (2018). Correlation between blood, physiological and behavioral parameters in beef calves under heat stress. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31, 919–925.
- Kim, W. S., Peng, D. Q., Jo, Y. H., Nejad, J. G., & Lee, H. G. (2021). Responses of beef calves to long-term heat stress exposure by evaluating growth performance, physiological, blood and behavioral parameters. *Journal of Thermal Biology*, (100) 103033.
- Koltes, J. E., Koltes, D. A., Mote, B. E., Tucker, J., & Hubbell, D. S. (2018). Automated collection of heat stress data in livestock: New technologies and opportunities. *Translational Animal Science*, 2, 319–323.
- Kononoff, P. J., & Heinrichs, A. J. (2003). The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 86, 1445–1457.
- Kononoff, P. J., Lehman, H. A., & Heinrichs, A. J. (2002). A comparison of methods used to measure eating and ruminating activity in confined dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 85(7), 1801–1803.
- Kovács, L., & Kovács, A. (2012). A hőstressz megelőzésének és mérséklésének módszerei a tejelő szarvasmarhatartásban. *Animal Welfare, Ethology and Housing Systems*, 8(1), 44–59.
- Kovács, L., Jurkovich, V., Bakony, M., Póti, P., Szenci, O., & Tőzsér, J. (2014). Welfare assessment in dairy cattle by heart rate and heart rate variability – Literature review and implications for future research. *Animal*, 8, 316–330.
- Kovács, L., Kézér, F. L., Bakony, M., Jurkovich, V., & Szenci, O. (2018a). Lying down frequency as a discomfort index in heat stressed Holstein bull calves. *Scientific Reports*, 8, 15065.
- Kovács, L., Kézér, F. L., Póti, P., Boros, N., & Nagy, K. (2020). Short communication: Upper critical temperature–humidity index for dairy calves based on physiological stress parameters. *Journal of Dairy Science*, 103, 2707–2710.
- Kovács, L., Kézér, F. L., Ruff, F., & Szenci, O. (2017). Rumination time and reticulorumenal temperature as possible predictors of dystocia in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 1568–1579.
- Kovács, L., Kézér, F. L., Ruff, F., Jurkovich, V., & Szenci, O. (2018b). Heart rate, cardiac vagal tone, respiratory rate, and rectal temperature in dairy calves exposed to heat stress in a continental region. *International Journal of Biometeorology*, 62, 1791–1797.
- Langer, D., Faludi, J., Tóth, M., & Sótónyi, P. (2010). A ló teljesítményét megalapozó sporélettani kutatások. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 59, 267–276.
- LeBlanc, S. (2010). Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *Journal of Reproduction and Development*, 56(S29), 29–35.
- Lebret, T., Watson, R. W. G., Molinié, V., O'Neill, A., Gabriel, C., Fitzpatrick, J. M., & Botto, H. (2003). Heat shock proteins HSP27, HSP60, HSP70, and HSP90: Expression in bladder carcinoma. *Cancer*, 98, 970–977.

- Lee, C., Gebremedhin, K., Parkhurst, A., & Hillman, P. (2015). Placement of temperature probe in bovine vagina for continuous measurement of core-body temperature. *International Journal of Biometeorology*, 59, 1201–1205.
- Lee, Y., Bok, J. D., Lee, H. J., Lee, H. G., Kim, D., Lee, I., Kang, S. K., & Choi, Y. J. (2016). Body temperature monitoring using subcutaneously implanted thermo-loggers from Holstein steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29, 299–306.
- Lees, A. M., Lees, J. C., Lisle, A. T., Sullivan, M. L., & Gaughan, J. B. (2018). Effect of heat stress on rumen temperature of three breeds of cattle. *International Journal of Biometeorology*, 62, 207–215.
- Lees, A. M., Lees, J. C., Sejian, V., Sullivan, M. L., & Gaughan, J. B. (2019). Influence of shade on panting score and behavioural responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* feedlot cattle to heat load. *Animal Production Science*, 60, 305–315.
- Li, Q., Yang, C., Du, J., Zhang, B., He, Y., Hu, Q., Li, M., Zhang, Y., Wang, C., & Zhong, J. (2018). Characterization of miRNA profiles in the mammary tissue of dairy cattle in response to heat stress. *BMC Genomics*, 19, 975.
- Lima, P. O., Souza, J. B. F. Jr., Lima, R. N., Oliveira, F. C. S., Domingos, H. G. T., & Miranda, M. V. (2013). Effect of time of day and type of shading on the physiological responses of crossbred calves in tropical environment. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 1, 7–12.
- Lomborg, S. R., Nielsen, L. R., Heegaard, P. M., & Jacobsen, S. (2008). Acute phase proteins in cattle after exposure to complex stress. *Veterinary Research Communications*, 32, 575–582.
- López-Gatius, F., Santolaria, P., Mundet, I., & Yàñez, J. L. (2005). Walking activity at estrus and subsequent fertility in dairy cows. *Theriogenology*, 63, 1419–1429.
- Mader, T. L., Davis, M. S., & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84, 712–719.
- Mahendran, S. A., Booth, R., Burge, M., & Bell, N. J. (2017). Randomised positive control trial of NSAID and antimicrobial treatment for calf fever caused by pneumonia. *Veterinary Record*, 181, 45.
- Mammi, L. M. E., Cavallini, D., Fustini, M., Fusaro, I., Giammarco, M., Formigoni, A., & Palmonari, A. (2021). Calving difficulty influences rumination time and inflammatory profile in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 750–761.
- Menta, P. R., Machado, V. S., Piñeiro, J. M., Thatcher, W. W., Santos, J. E. P., & Vieira-Neto, A. (2022). Heat stress during the transition period is associated with impaired production, reproduction, and survival in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105, 4474–4489.
- Mezetti, M., Cattaneo, L., Passamonti, M. M., Lopreiato, V., Minuti, A., & Trevisi, E. (2021). The transition period updated: A review of the new insights into the adaptation of cows to the new lactation. *Dairy*, 2, 617–636.

- Mialon, M. M., Deiss, V., Andanson, S., Anglard, F., Doreau, M., & Veissier, I. (2012). An assessment of the impact of rumenocentesis on pain and stress in cattle and the effect of local anaesthesia. *Veterinary Journal*, 194, 55–59.
- Millspaugh, J. J., Woods, R. J., Hunt, K. E., Raedeke, K. J., Brundige, G. C., Washburn, B. E., & Wasser, S. K. (2001). Fecal glucocorticoid assays and the physiological stress response in elk. *Wildlife Society Bulletin*, 29, 899–907.
- Min, L., Li, D., Tong, X., et al. (2019). Nutritional strategies for alleviating the detrimental effects of heat stress in dairy cows: A review. *International Journal of Biometeorology*, 63, 1283–1302.
- Mitchell, G., Hattingh, J., & Ganhao, M. (1988). Stress in cattle assessed after handling, transport and slaughter. *Veterinary Record*, 123, 201–205.
- Moberg, G. P. (2000). Biological response to stress: Implications for animal welfare. In G. P. Moberg & J. A. Mench (Eds.), *The biology of animal stress* (pp. 1–21). CABI.
- Molinari, P. C. C., Sheldon, I. M., Dahl, G. E., & Bromfield, J. J. (2019). Regardless of bacterial load in the vagina, heat stress increases uterine disease incidence/severity in the dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 102(Suppl. 1), 306.
- Monteiro, A. P. A., Tao, S., Thompson, I. M. T., Dahl, G. E. (2016) In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *Journal of Dairy Science*, 99, 8443–8450.
- Moore, D. A., Duprau, J. L., & Wenz, J. R. (2012). Short communication: Effects of dairy calf hutch elevation on heat reduction, carbon dioxide concentration, air circulation, and respiratory rates. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 4050–4054.
- Moretti, R., Biffani, S., Chessa, S., & Bozzi, R. (2017). Heat stress effects on Holstein dairy cows' rumination. *Animal*, 11, 2320–2325.
- Morignat, E., Gay, E., Vinard, J. L., Calavas, D., & Hénau, V. (2015). Quantifying the influence of ambient temperature on dairy and beef cattle mortality in France from a time-series analysis. *Environmental Research*, 140, 524–534.
- Mormède, P., Andanson, S., Aupérin, B., Beerda, B., Guémené, D., Malmkvist, J., Manteca, X., Manteuffel, G., Prunet, P., & van Reenen, C. G. (2007). Exploration of the hypothalamic–pituitary–adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiology & Behavior*, 92, 317–339.
- Morrow, C. J., Kolver, E. S., Verkerk, G. A., & Matthews, L. R. (2000). Urinary cortisol: An indicator of stress in dairy cattle. In *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* (Vol. 60, pp. 218–221). Hamilton, New Zealand.
- Murata, H. (1989). Suppression of lymphocyte blastogenesis by sera from calves transported by road. *British Veterinary Journal*, 145, 257–262.
- Müschner-Siemens, T., Hoffmann, G., Ammon, C., & Amon, T. (2020). Daily rumination time of lactating dairy cows under heat stress conditions. *Journal of Thermal Biology*, 88, 102484.

- National Research Council (NRC). (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7th ed.). National Academy Press.
- Neuffer, I. (2006). *Influence of automatic milking systems on behaviour and health of dairy cows* (Doctoral dissertation, University of Hohenheim, Germany), pp. 78.
- Neuwirth, J. G., Norton, J. K., Rawlings, C. A., Thompson, F. N., & Ware, G. O. (1979). Physiologic responses of dairy calves to environmental heat stress. *International Journal of Biometeorology*, 23, 243–254.
- Nguyen, T. T. T., Bowman, P. J., Haile-Mariam, M., Pryce, J. E., & Hayes, B. J. (2016). Genomic selection for tolerance to heat stress in Australian dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 99, 2849–2862.
- Norman, H. D., Guinan, F. L., Walton, L. M., & Dürr, J. (2019). Somatic cell counts of milk from Dairy Herd Improvement herds during 2019. *Council on Dairy Cattle Breeding*, Beltsville, MD.
- Novotniné Dankó, G., Rónai, Á., Tóth, P. P., Szabó, D., Balogh, P., & Kovácsné Koncz, N. (2017). Nyári meleg okozta hőstressz hatásának vizsgálata a tejelő szarvasmarha szaporodásbiológiai mutatóira. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 139(12), 717–727.
- Oh, J., Wall, E. H., Bravo, D. M., & Hristov, A. N. (2017). Host-mediated effects of phytonutrients in ruminants: A review. *Journal of Animal Science*, 100, 5974–5983.
- Orihuela, A. (2000). Some factors affecting the behavioral manifestation of oestrus in cattle: A review. *Applied Animal Behaviour Science*, 70, 1–16.
- Pál, L., Nagy, Sz., Bercsényi, M., & Husvéth, F. (2012). Hő sokkfehérjék jelentősége az élettani stresszválasz folyamatában. In *Proceedings of the 54th Georgikon Napok* (pp. 371–379).
- Palme, R. (2005). Measuring fecal steroids: Guidelines for practical application. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1046(1), 75–80.
- Paudyal, S., Maunsell, F., Richeson, J., Risco, C., Donovan, A., & Pinedo, P. (2016). Peripartur ruminant dynamics and health status in cows calving in hot and cool seasons. *Journal of Dairy Science*, 99, 9057–9068.
- Pedersen, A. (2010). Rumination measurements and ketosis in early lactation. *Dansk Veterinærtidsskrift*, 93, 28–32.
- Peña, G., Risco, R., Kunihiro, E., Thatcher, M. J., & Pinedo, P. J. (2016). Effect of housing type on health and performance of preweaned dairy calves during summer in Florida. *Journal of Dairy Science*, 99, 1655–1662.
- Peng, D., Chen, S., Li, G., Chen, J., Wang, J., & Gu, X. (2019). Infrared thermography measured body surface temperature and its relationship with rectal temperature in dairy cows under different temperature-humidity indexes. *International Journal of Biometeorology*, 63, 327–336.

- Peralta, O. A., Pearson, R. E., & Nebel, R. L. (2005). Comparison of three estrus detection systems during summer in large commercial dairy herd. *Animal Reproduction Science*, 87, 59–72.
- Pereira, M. H. C., Rodrigues, A. D. P., Martins, T., Oliveira, W. V. C., Silveira, P. S. A., Wiltbank, M. C., & Vasconcelos, J. L. M. (2013). Timed artificial insemination programs during the summer in lactating dairy cows: Comparison of the 5-d Cosynch protocol with an estrogen/progesterone-based protocol. *Journal of Dairy Science*, 96, 6904–6914.
- Pereira, M. H. C., Wiltbank, M. C., Barbosa, L. F. S. P., Costa, W. M., Carvalho, M. A. P., & Vasconcelos, J. L. M. (2015). Effect of adding a gonadotropin-releasing-hormone treatment at the beginning and a second prostaglandin F2 α treatment at the end of an estradiol-based protocol for timed artificial insemination in lactating dairy cows during cool or hot seasons of the year. *Journal of Dairy Science*, 98, 947–959.
- Perera, K. S., Gwazdauskas, F. C., Pearson, R. E., & Brumback, T. B. (1986). Effect of season and stage of lactation on performance of Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 69, 228–236.
- Pfaffl, M. V. (2001). A new mathematical model for relative quantification in real-time RT–PCR. *Nucleic Acids Research*, 29(9), e45.
- Piccione, G., Caola, G., & Refinetti, R. (2003). Daily and estrous rhythmicity of body temperature in domestic cattle. *BMC Physiology*, 3, 7.
- Pinedo, P. J., & De Vries, A. (2017). Season of conception is associated with future survival, fertility, and milk yield of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 6631–6639.
- Pinto, S., Hoffmann, G., Ammon, C., & Amon, T. (2020). Critical THI thresholds based on the physiological parameters of lactating dairy cows. *Journal of Thermal Biology*, 88, 102523.
- Polsky, L., & von Keyserlingk, M. A. G. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8645–8657.
- Pragna, P., Archana, P. R., Aleena, J., Sejian, V., Krishnan, G., Bagath, M., Manimaran, A., Beena, V., Kurien, E. K., Varma, G., & Bhatta, R. (2017). Heat stress and dairy cow: Impact on both milk yield and composition. *International Journal of Dairy Science*, 12, 1–11.
- Proudfoot, K. L., Huzzey, J. M., & von Keyserlingk, M. A. G. (1998). The effect of dystocia on the dry matter intake and behavior of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 92, 4937–4944.
- Provolo, G., & Riva, E. (2009). One-year study of lying and standing behaviour of dairy cows in a freestall barn in Italy. *Journal of Agricultural Engineering*, 40(2), 27–34.
- Quigley, J (2001) Calf Note # 68 – Predicting water intake in young calves. Calf Note.com, pp. 1–4.
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Ramón-Moragues, A., Carulla, P., Mínguez, C., Villagrà, A., & Estellés, F. (2021). Dairy cows activity under heat stress: A case study in Spain. *Animals*, 11, 2305.

- Reiczigel, J., Solymosi, N., Könyves, L., Maróti-Agóts, A., Kern, A., & Bartyi, J. (2009). A hőstressz okozta tejtermelés-kiesés vizsgálata hőmérséklet-páratartalom indexek alkalmazásával. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 131(3), 137–144.
- Reid, E. D., Fried, K., Velasco, J. M., & Dahl, G. E. (2012). Correlation of rectal temperature and peripheral temperature from implantable radio-frequency microchips in Holstein steers challenged with lipopolysaccharide under thermoneutral and high ambient temperatures. *Journal of Animal Science*, 90, 4788–4794.
- Reith, S., & Hoy, S. (2018). Behavioral signs of estrus and the potential of fully automated systems for detection of estrus in dairy cattle. *Animal*, 12(2), 398–407.
- Renaudeau, D., Collin, A., de Babilio, V., Gourdine, J. L., & Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707–728.
- Reuter, R., Carroll, J., Hulbert, L., Dailey, J., & Galyean, M. (2010). Technical note: Development of a self-contained, indwelling rectal temperature probe for cattle research. *Journal of Animal Science*, 88, 3291–3295.
- Rhoads, M. L., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Collier, R. J., Sanders, S. R., Weber, W. J., Crooker, B. A., & Baumgard, L. H. (2009). Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*, 92, 1986–1997.
- Rhoads, R. P., Baumgard, L. H., Suagee, J. K., & Sanders, S. R. (2013). Nutritional interventions to alleviate the negative consequences of heat stress. *Advances in Nutrition*, 4, 267–276.
- Richter, U. (2010). *Quantifizierung der Fress- und Wiederkäuaktivitäten von Milchkühen* [Doctoral dissertation, University Kassel].
- Riek, A., Schrader, L., Zerbe, F., & Petow, S. (2019). Comparison of cortisol concentrations in plasma and saliva in dairy cattle following ACTH stimulation. *Journal of Dairy Research*, 86, 406–409.
- Ríos-Utrera, Á., Calderón-Robles, R. C., Galavíz-Rodríguez, J. R., Vega-Murillo, V. E., & Lagunes-Lagunes, J. (2013). Effects of breed, calving season and parity on milk yield, body weight and efficiency of dairy cows under subtropical conditions. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 5(6), 226–232.
- Roche, J. R., Friggens, N. C., Kay, J. K., Fisher, M. W., Stafford, K. J., & Berry, D. P. (2009). Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, 92, 5769–5801.
- Rochfort, S., Parker, A. J., & Dunshea, F. R. (2008). Plant bioactives for ruminant health and productivity. *Phytochemistry*, 69(2), 299–322.
- Roelofs, J., López-Gatius, F., Hunter, R. H. F., Van Eerdenburg, F. J. C. M., & Hanzen, C. (2010). When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*, 74, 327–344.

- Roland, L., Drillich, M., Klein-Jöbstl, D., & Iwersen, M. (2016). Invited review: Influence of climatic conditions on the development, performance, and health of calves. *Journal of Dairy Science*, 99, 2438–2452.
- Romano, J. E., Thompson, J. A., Kramer, D. C., Westhusin, M. E., Forrest, D. W., & Tomaszewski, M. A. (2007). Early pregnancy diagnosis by palpation per rectum: Influence on embryo/fetal viability in dairy cattle. *Theriogenology*, 67, 486–493.
- Roth, Z., Meidan, R., Braw-Tal, R., & Wolfenson, D. (2000). Immediate and delayed effects of heat stress on follicular development and its association with plasma FSH and inhibin concentration in cows. *Journal of Reproduction and Fertility*, 120, 83–90.
- Roussel, A. J. (1999). Fluid therapy in mature cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 15, 545–567.
- Rulquin, H., & Caudal, J. P. (1992). Effects of lying or standing on mammary blood flow and heart rate of dairy cows. *Annales de Zootechnie*, 41, 101.
- Saha, S., Gallo, L., Bittante, G., Schiavon, S., Bergamaschi, M., Ganesella, M., & Fiore, E. (2019). A study on the effects of rumen acidity on rumination time and yield, composition, and technological properties of milk from early lactating Holstein cows. *Animals*, 9, 66.
- Samara, E. M., Abdoun, K. A., Okab, A. B., Al-Badwi, M. A., & Al-Haidary, A. A. (2019). Identifying potential thermal drivers of sudomotor in camels (*Camelus dromedarius*). *Journal of Thermal Biology*, 85, 102413.
- Sammad, A., Umer, S., Shi, R., Zhu, H., Zhao, X., & Wang, Y. (2020). Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(4), 978–986.
- Sanchez, W. K., McGuire, M. A., & Beede, D. K. (1994). Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle: Review and original research. *Journal of Dairy Science*, 77, 2051–2079.
- Sartori, R., Sartor-Bergfelt, R., Mertens, S. A., Guenther, J. N., Parrish, J. J., & Wiltbank, M. C. (2002). Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter. *Journal of Dairy Science*, 85, 2803–2812.
- Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, D. M., Heuwieser, W., & von Keyserlingk, M. A. G. (2012). Rumination and its relationship to feeding and lying behavior in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95, 3212–3217.
- Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, D. M., Heuwieser, W., & von Keyserlingk, M. A. G. (2011). Short-term effects of regrouping on behavior of prepartum dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94, 2312–2319.
- Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, D. M., Vickers, L., & von Keyserlingk, M. A. G. (2013). Short communication: Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96, 7088–7092.

- Schirmann, K., von Keyserlingk, M. A. G., Weary, D. M., Veira, D. M., & Heuwieser, W. (2009). Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92, 6052–6055.
- Schüller, L. K., Burfeind, O., & Heuwieser, W. (2014). Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology*, 81, 1050.e7.
- Schüller, L. K., Michaelis, I., & Heuwieser, W. (2017). Impact of heat stress on estrus expression and follicle size in estrus under field conditions in dairy cows. *Theriogenology*, 102, 48–53.
- Schütz, K. E., Cox, N. R., & Matthews, L. R. (2008). How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *Applied Animal Behaviour Science*, 114, 307–318.
- Schütz, K. E., Rogers, A. R., Cox, N. R., & Tucker, C. B. (2009). Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: Shade use, behavior, and body temperature. *Applied Animal Behaviour Science*, 116, 28–34.
- Schütz, K. E., Rogers, A. R., Poulouin, Y. A., Cox, N. R., & Tucker, C. B. (2010). The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 93, 125–133.
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. (2018). Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 12(S1), S431–S444.
- Sejian, V., Shashank, C. G., Slipa, M. V., Madhusoodan, A. P., Devaraj, C., & Koenig, S. (2022). Non-invasive methods of quantifying heat stress response in farm animals with special reference to dairy cattle. *Atmosphere*, 13(10), 1642.
- Senger, P. L. (2003). *Pathways to pregnancy and parturition* (2nd ed.). Current Conceptions, Inc. 69-71.
- Sgorlon, S., Fanzago, M., Guiatti, D., Gabai, G., Stradaoli, G., & Stefanon, B. (2015). Factors affecting milk cortisol in mid-lactating dairy cows. *BMC Veterinary Research*, 11, 259.
- Shu, H., Wang, W., Guo, L., & Bindelle, J. (2021). Recent advances on early detection of heat strain in dairy cows using animal-based indicators: A review. *Animals*, 11(4), 980.
- Shwartz, G., Rhoads, M. L., VanBaale, M. J., Rhoads, R. P., & Baumgard, L. H. (2009). Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 92, 935–942.
- Sigdel, A., Abdollahi-Arpanahi, R., Aguilar, I., Peñagaricano, F. 2019. Whole genome mapping reveals novel genes and pathways involved in milk production under heat stress in US Holstein cows. *Front. Genet.* 10, 928.
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 67, 1–18.

Silanikove, N., & Darcan, N. K. (2015): Impact of climate change on the dairy industry in temperature zones: Predictions on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaption to earth warning. *Small Ruminant Research*, 123, 27-34.

Silanikove, N., Shapiro, F., & Shinder, D. (2009). Acute heat stress brings down milk secretion in dairy cows by up-regulating the activity of the milk-borne negative feedback regulatory system. *BMC Physiology*, 9, 13.

Silper, B. F., Madureira, A. M. L., Kaur, M., Burnett, T. A., & Cerri, R. L. A. (2015). Short communication: Comparison of estrus characteristics in Holstein heifers by 2 activity monitoring systems. *Journal of Dairy Science*, 98, 3158–3165.

Singh, R., Rajesh, C., Mishra, S. K., Gurao, A., Vohra, V., Niranjana, S. K., & Kataria, R. S. (2018). Comparative expression profiling of heat-stress tolerance associated HSP60 and GLUT-1 genes in Indian buffaloes. *Indian Journal of Dairy Science*, 71, 183–186.

Smith, J. F., & Harner, J. P. (2012). Strategies to reduce the impact of heat and cold stress in dairy cattle facilities. In R. J. Collier & J. L. Collier (Eds.), *Environmental Physiology of Livestock* (pp. 267–288). Wiley-Blackwell.

Soriani, N., Panella, G., & Calamari, L. (2013). Rumination time during summer season and its relationship with metabolic conditions and milk production. *Journal of Dairy Science*, 96, 5082–5094.

Soriani, N., Trevisi, E., & Calamari, L. (2012). Relationships between rumination time, metabolic conditions and health status in dairy cows during the transition period. *Journal of Animal Science*, 90, 4544–4554.

Spiers, D. E., Spain, J. N., Ellersieck, M. R., & Lucy, M. C. (2018). Strategic application of convective cooling to maximize the thermal gradient and reduce heat stress response in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101, 8269–8283.

Spiers, D. E., Spain, J. N., Sampson, J. D., & Rhoads, R. P. (2004). Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat-stressed dairy cows. *Journal of Thermal Biology*, 29, 759–764.

Steensels, M., Maltz, E., Bahr, C., Berckmans, D., Antler, A., & Halachmi, I. (2017). Towards practical application of sensors for monitoring animal health: the effect of post-calving health problems on rumination duration, activity and milk yield. *Journal of Dairy Research*, 84, 132–138.

Stewart, M., Stafford, K. J., Dowling, S. K., Schaefer, A. L., & Webster, J. R. (2008). Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Physiology & Behavior*, 93, 789–797.

Stull, C. & Reynolds, J. (2008). Calf Welfare. *Vet Clin Food Anim*, 24, 191-203.

Strong, R. A., Silva, E. B., Cheng, H. W., & Eicher, S. D. (2015). Acute brief heat stress in late gestation alters neonatal calf innate immune functions. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7771–7783.

Takács, D. (2003). Istálló klimatechnikai vizsgálata. *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Áramlástan Tanszék*, 20.
<http://www.mm.bme.hu/~takacs/tudomany/istallo.pdf>

Tao, S., & Dahl, G. E. (2013). Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *Journal of Dairy Science*, 96, 4079–4093.

Tao, S., Orellana Rivas, R. M., Marins, T. N., Chen, Y., Gao, J., & Bernard, J. K. (2020). Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology*, 150, 437–444.

Tao, S., Orellana, R., Weng, X., Marins, T., Dahl, G., & Bernard, J. (2018). Symposium review: The influences of heat stress on bovine mammary gland function. *Journal of Dairy Science*, 101, 5642–5654.

Thornton, P., Nelson, G., Mayberry, D., & Herrero, M. (2022). Impacts of heat stress on global cattle production during the 21st century: A modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 6, e192–e201.

Thun, R., Eggenberger, E., & Zerobin, K. (1985). Twenty-four-hour secretory patterns of cortisol, progesterone and estradiol in heifers during the follicular and luteal phases of the ovarian cycle. *Animal Reproduction Science*, 9, 341–356.

Toledo, I. M., Dahl, G. E., & De Vries, A. (2022). Dairy cattle management and housing for warm environments. *Livestock Science*, 255, 104802.

Tresoldi, G., Schütz, K. E., & Tucker, C. B. (2020). Sampling strategy and measurement device affect vaginal temperature outcomes in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 103, 5414–5421.

Tucker, C. B., Rogers, A. R., & Schütz, K. E. (2008). Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science*, 109, 141–154.

Tufarelli, V., Puvača, N., Glamočić, D., Pugliese, G., & Colonna, M. A. (2024). The most important metabolic diseases in dairy cattle during the transition period. *Animals*, 14, 816.

Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. (2019). Review: Environmental impact of livestock farming and precision livestock farming as a mitigation strategy. *Science of The Total Environment*, 650(Pt 2), 2751–2760.

Turner, L. W., Chastain, J. P., Hemken, R. W., Gates, R. S., & Crist, W. L. (1992). Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling. *Applied Engineering in Agriculture*, 8, 251–256.

Vickers, L. A., Burfeind, O., von Keyserlingk, M. A. G., Veira, D. M., Weary, D. M., & Heuwieser, W. (2010). Technical note: Comparison of rectal and vaginal temperatures in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93, 5246–5251.

Vizzotto, E. F., Fischer, V., Neto, A. T., Abreu, A. S., Stumpf, M. T., Wernecke, D., Schmidt, F. A., & McManus, C. M. (2015). Access to shade changes behavioral and physiological attributes of dairy cows during the hot season in the subtropics. *Animal*, 9(9), 1559–1566.

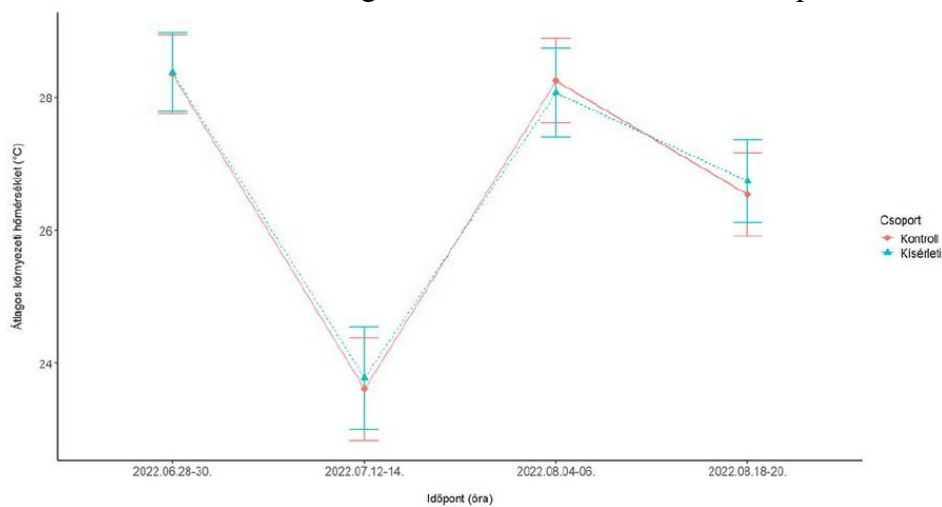
- von Borell, E., Langbein, J., Després, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchant-Forde, J., ... & Veissier, I. (2007). Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals: A review. *Physiology & Behavior*, 92, 293–316.
- Wagner, P. E. (2001). *Heat stress on dairy cows*. Dairy Franklin Country Publishers.
- Wankar, A. K., Rindhe, S. N., & Doijad, N. S. (2021). Heat stress in dairy animals and current milk production trends, economics, and future perspectives: The global scenario. *Tropical Animal Health and Production*, 53, s11250–s020.
- Wiedmeier, RD, Young, AJ and Hammon, DS (2005) Frequent changing and rinsing of drinking water buckets improved performance and health of hutch-reared Holstein beef calves. *Bovine Practitioner* 40, 1–8.
- West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86, 2131–2144.
- West, J. W., Mullinix, B. G., & Bernard, J. K. (2003). Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86, 232–242.
- Westwood, C. T., Lean, I. J., & Garvin, J. K. (2002). Factors influencing fertility of Holstein dairy cows: A multivariate description. *Journal of Dairy Science*, 85, 3225–3237.
- Wiersma, F., & Armstrong, D. V. (1989). Microclimate modification to improve milk production in hot arid climates. In V. A. Dodd & P. M. Grace (Eds.), *Proceedings of the 11th International Congress on Agricultural Engineering* (pp. 1433–1440). A. Balkema Publishers.
- Wildman, E. E., Jones, G. M., Wagner, P. E., Boman, R. L., Troutt, H. F., & Lesch, T. N. (1982). A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *Journal of Dairy Science*, 65(3), 495–501.
- Wolfenson, D., Roth, Z., & Meidan, R. (2000). Impaired reproduction in heat-stressed cattle: Basic and applied aspects. *Animal Reproduction Science*, 60–61, 535–547.
- Worley, J. W., & Bernard, J. K. (2006). Comparison of high volume low speed (HVLS) vs. conventional fans in a free stall dairy in a hot humid climate. In *Proceedings of the 2006 ASABE Annual International Meeting* (pp. 1–?). Portland, OR, USA.
- Yang, W. Z., Ametaj, B. N., Benchaar, C., He, M. L., & Beauchemin, K. A. (2010). Cinnamaldehyde in feedlot cattle diets: Intake, growth performance, carcass characteristics, and blood metabolites. *Journal of Animal Science*, 88, 1082–1092.
- Yu, M. F., Zhao, X. M., Cai, H., Yi, J. M., & Hua, G. H. (2020). Dihydropyridine enhances the antioxidant capacities of lactating dairy cows under heat stress condition. *Animals*, 10(10), 1812.
- Zemjanis, R. (1970). *Diagnostic and therapeutic techniques in animal reproduction* (2nd ed., pp. 29–45). Williams and Wilkins.

Zhao, S., Min, L., Zheng, N., & Wang, J. (2019). Effect of heat stress on bacterial composition and metabolism in the rumen of lactating dairy cows. *Animals*, 9(11), 925.

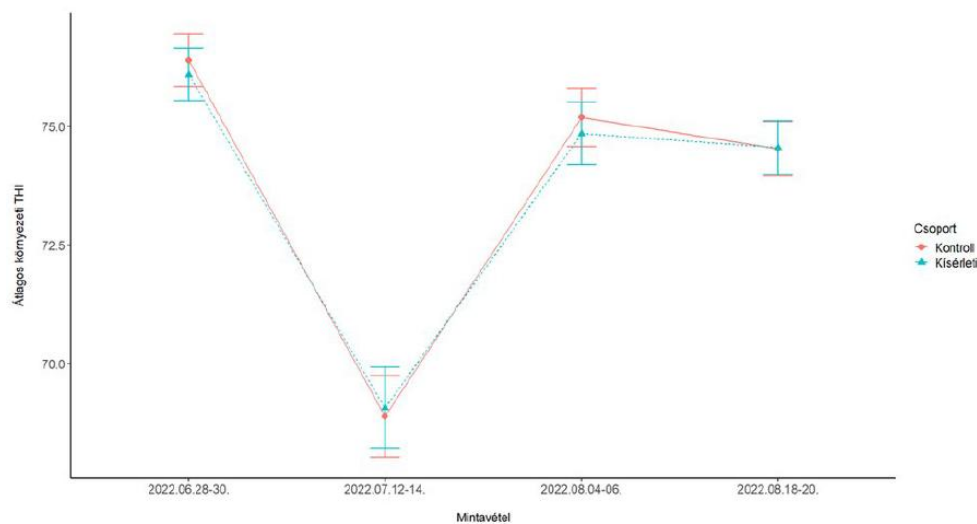
Zimbleman, R. B., Rhoads, R. P., Rhoads, M. L., Duff, G. C., Baumgard, L. H., & Collier, R. J. (2009). A re-valuation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. In *Proceedings of the 24th Annual Southwest Nutrition and Management Conference* (pp. 158–168).

MELLÉKLETEK

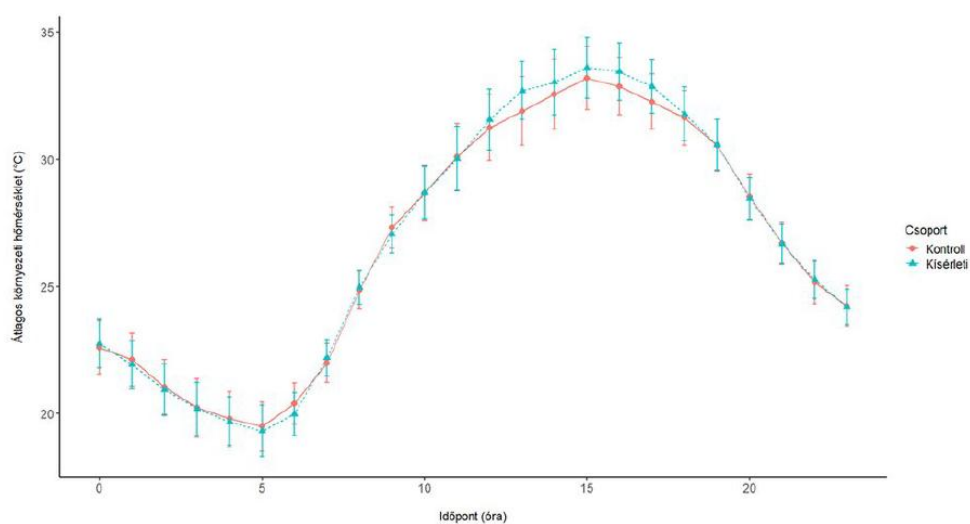
1. sz. melléklet: Az istállók átlagos hőmérséklete a mintavételi napokon



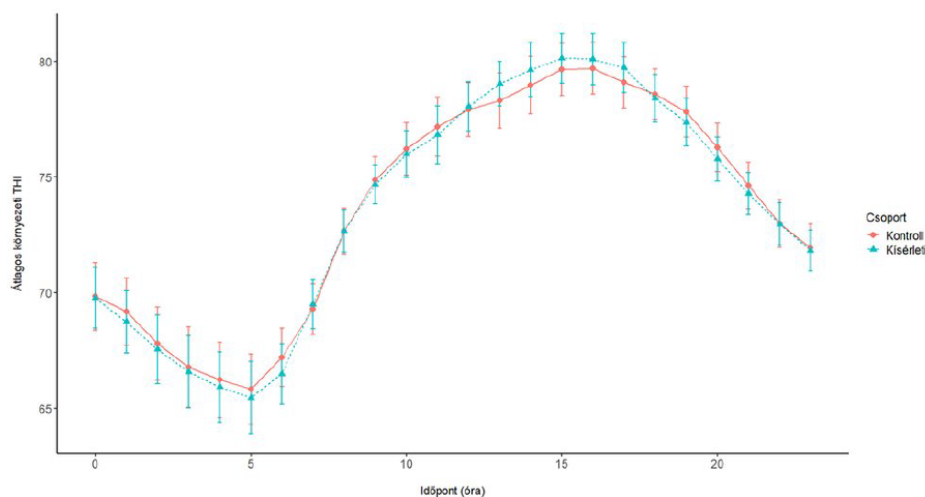
2. sz. melléklet: Az átlagos THI az istállókban a mintavételi napokon



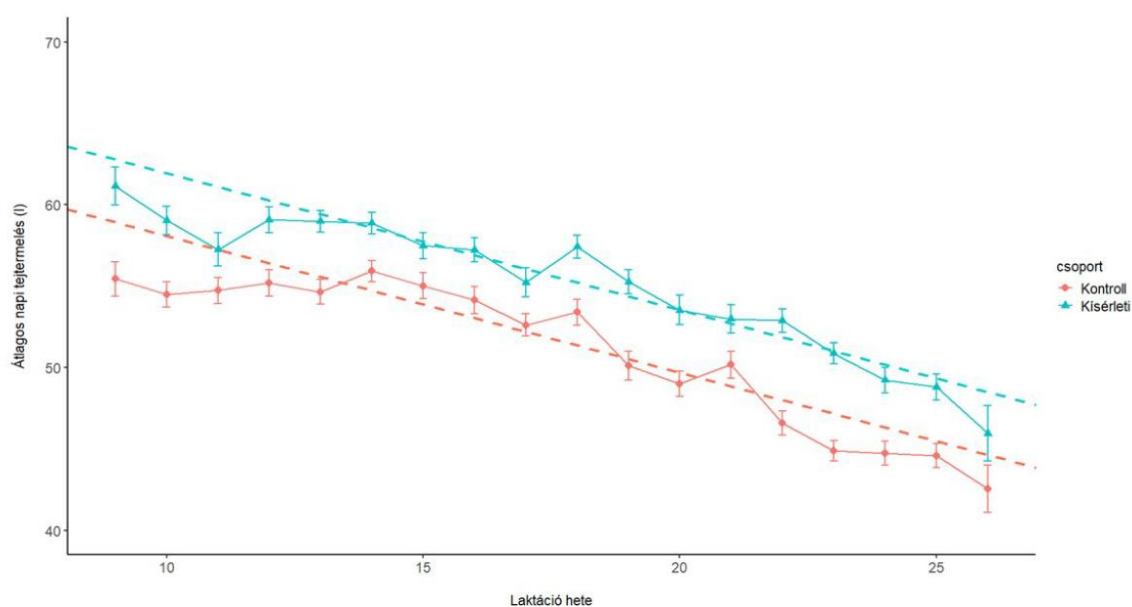
3. sz. melléklet: A kísérleti és kontroll istálló hőmérséklete egy átlagos mintavételi napon



4. sz. melléklet: A THI alakulása a kísérleti és kontroll istállóban egy átlagos mintavételi napon



5. sz. melléklet: A vizsgált tehenek átlagos napi tejtermelése a laktáció 8.-26. hete között



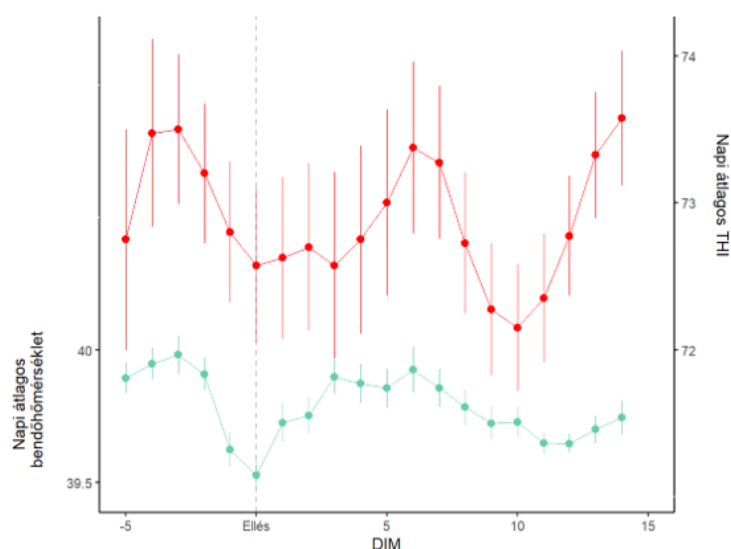
6. sz. melléklet: TMR összetevők ellés előtt és után az ellés körüli hőstressz kísérletben

Összetevők (kg)	Ellés előtt	Ellés után
Kukorica szilázs	8.0	9.0
Rozs szenázs	3.0	10.0
Árpa szalma	3.0	0.0
WCGF	4.0	6.5
Koncentrátumok	4.3	13.0
Összesen	22.3	38.5

7. sz. melléklet: A TMR kalkulált kémiai összetétele

Beltartalom (sz.a. %)	Ellés előtt	Ellés után
Száraz-anyag	52.7	52.5
NE _I (MJ/kg)	5.6	7.3
Nyersfehérje	15.9	17.3
Cukor	3.8	9.9
Keményítő	16.5	21.0
Nyersrost	20.0	13.1
ADF	23.3	17.9
NDF	34.0	31.3
NFC	38.1	38.1
Nyerszsír	3.6	4.3
Hamu	8.3	8.9
Ca	1.7	1.1
P	0.4	0.5

8. sz. melléklet: A napi átlagos bendőhőmérséklet és THI alakulása az ellés körül



9. sz. melléklet: Az ivarzás körüli hőstressz videófelvételeinek időtartama

Videófelvételek					
Augusztus	23(szerda)	24(csüt.)	hőstressz		25(péntek)
istálló	18:00-00:00	00:00-06:00	06:00-18:00	18:00-00:00	00:00-06:00
	du GnRh	Term.		du GnRh	Term.
felhajtót, zsúfoló		04:00-06:00			04:00-06:00
December	13(szerda)	14(csüt.)	hősemleges		15(péntek)
istálló	18:00-00:00	00:00-06:00	06:00-18:00	18:00-00:00	00:00-06:00
	du GnRh	Term.		du GnRh	Term.
felhajtót, zsúfoló		04:00-06:00			04:00-06:00

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki témavezetőmnek **Dr. Bodnár Ákos** egyetemi docensnek, aki támogatta PhD tanulmányaim megkezdését és szabad kezet biztosított a munka és a kutatói pálya párhuzamos végzésére, teret engedve a minél szélesebb körű szakmai ismeretek elsajátításához.

Köszönettel tartozom egykori társ-témavezetőmnek **Dr. Kovács Leventének** a témaválasztásban és a kísérletek megtervezésében nyújtott segítségért. Külön köszönet, hogy számos K+F+I projektben dolgozhattam betekintést nyerve a kutatás és a telepek szoros együttműködési lehetőségeibe.

Köszönettel tartozom a **Vitafort Zrt.-nek** a Kooperatív Doktori Programhoz nyújtott vállalati háttér biztosításáért, valamint **Dr. Gregosits Baláznak**, aki vállalati szakértőként támogatott az ösztöndíjas időszak során.

Hálás köszönettel tartozom **Dr. Jurkovich Viktornak** (Állatorvos-tudományi Kar, Állatvédelmi Központ), hogy elfogadta a társ-témavezetői felkérést és messzemenően támogatott a publikációk megírásában és a doktori tanulmányaim sikeres befejezésében.

Köszönöm **Dr. Bakony Mikoltnak** a statisztikai vizsgálatokban és az eredmények összefüggéseinek elemzésében nyújtott segítségét.

Köszönöm, **Dr. Fébel Hedvig** professzor asszonynak az angol nyelvű publikációk elkészülésében nyújtott alapos szakmai, nyelvtani és stilisztikai áttekintését és javítását.

Köszönöm **Dr. Kusza Szilviának** a génexpressziós vizsgálatok kiértékelésében nyújtott segítségét.

Köszönöm a **Vet-Med-Labor** és az **Állatorvosi Egyetem Laboratórium dolgozóinak** a laborvizsgálatok során nyújtott pontos, precíz munkavégzést és a gyors eredményközlést.

Köszönöm **Szécsi Eszternek** a videóelemzésekben nyújtott óriási segítséget és emellett, hogy társ-témavezetője lehettem diplomamunkájának elkészítése során.

Köszönöm a **szarvasmarha telepek vezetőinek**, hogy helyszínt és kísérletbe vonható állatokat biztosítottak kutatásunk elvégzéséhez, továbbá a **telepi dolgozóknak**, akik önzetlenül segítettek munkánkat a vizsgálatok során.

Köszönöm minden **ismerősömnek, kollégámnak, barátomnak, családtagomnak**, akik, ha csak egy jó szóval is, de motiváltak céljaim elérésében és hittek doktori tanulmányaim sikeres megvalósításában.

A disszertáció az Innovációs és Technológiai Minisztérium **Kooperatív Doktori Program** Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2021 pályázati program, C1785923 számú projekt finanszírozásával valósult meg.

A kutatás részben a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által támogatott „A hőstressz kivédését célzó komplex tartás- és takarmányozás-technológiai fejlesztés az immunfunkciók és a szaporodásbiológiai mutatók javításával” c. projekt keretei között valósult meg (projekt száma: 2018-1.1.2-KFI-2018-00147).