



# VAN, AKI FORRÓN SZERETI III.

## A HŐSTRESSZ NYOMON KÖVETÉSE TEJELŐ TEHENEKBEN

**Dr. Israel Flamenbaum**  
Cow Cooling Solutions Ltd.  
Izrael, 2023. május 8.

Fordította és szerkesztette:  
Dr. Orosz Szilva



### Bevezetés (Dr. Orosz Szilvia)

A hőstressz látható jeleinek megjelenésekor (zihálás, lógó fülek, nyáladás, összeállás), biztosan lesz tejmaradás. A szenzorok abban segítenek, hogy a látható jelek előtt figyelmeztessenek a veszélyre és a beavatkozás szükségességére. Biztos, hogy a ventilátoroknak 24 °C-on kell elindulni? A ventilátorok sokszor a légcserét is szolgálják! Hidegben tehát nem kell cserélni a levegőt, eltávolítani az ammóniát? A függönyöket mikor húzzuk fel vagy le? Vannak szenzorok és automatika? Valószínűleg. Ha azonban lezárjuk az istállót a függönyökkel, akkor mi lesz a

természetes légcserével? Sok a kérdés. A válaszokat a tehen viselkedése és a külső vagy tehenet mérő szenzorok adatai adják meg. Mélni kell ahhoz, hogy lássuk a veszély mértékét és a beruházás /beállítás eredményét. Ehhez használhatóak a légsebesség, a THI és a hőmérséklet-páratartalom mérők. De vannak szenzorok, amik egyenesen a tehen viselkedését vagy élettani folyamatait mérve adnak válaszokat. Sok ilyen szenzor már itthon is elérhető, sőt már többen használják is. A kérdés, hogy a hőstressz monitorozására is használják-e? Ez a cikk erről szól.

### 1. A hőstressz nyomon követése tejelő teheneiben: hőindexek, élettani és viselkedési jellemzők 1.

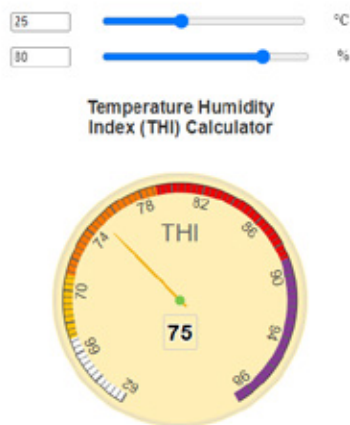
A hőstresszel összefüggő termelés kiesés, a veszélyeztetett jóllét és a szarvasmarhák elhullása világszerte aggodalomra ad okot, ami az éghajlatváltozás és a tehének termelékenységének növekedése miatt egyre nagyobb problémát jelent. A szarvasmarhák hőstresszre adott reakciója az

egyediség és a termikus környezet függvényében változik. Ebben a cikkben a hőstressz nyomon követését kívánom ismertetni, egyéni és állományszinten, a hőindexek, valamint a hőstresszre kitett teheneiben bekövetkező élettani és viselkedési változások bemutatásával.



## 1.1. Termikus indexek

A termikus indexek a környezeti paraméterek (a levegő hőmérséklete, a relatív páratartalom, a napsugárzás, a szélesebbesség stb.) diagnosztikai mennyiségei, amelyekkel az állatok hőérzetének komfortfokozata a környezetükben értékelhető. A levegő hőmérséklete (mint egyetlen mutató) kihagy más fontos környezeti tényezőket, amelyek szintén befolyásolják az állatok termikus komfortérzetét. A hőmérséklet-páratartalom index (THI) és a hőterhelési index (HLI) a legelterjedtebb komplex termikus indexek, melyeket ma már széles körben használnak a tehenészetekben és a húsmarhatartásban.



Online THI index kalkulátor

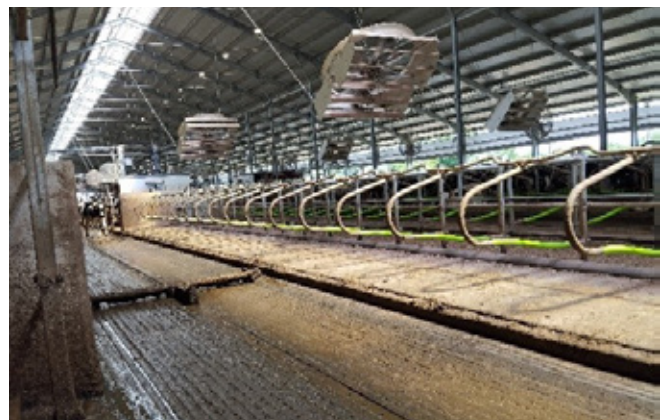
A **hőmérséklet és páratartalom alapú indexek:** a levegő hőmérsékletén (száraz és/vagy nedves hőmérséklet), a fekete gömb hőmérsékletén (egy napsütésnek kitett gömb belsejében, azaz árnyékban mért hőfok), és a levegő relatív páratartalmán alapuló indexek segítségével megbecsülhető az emberek, szarvasmarhák és más állatok hőkomfortja. A **hőmérséklet-páratartalom index (THI)** a száraz és nedves hőmérséklet (°C) összegén alapul, és az állatállományban a hőstressz legszélesebb körben használt indexe, amely a környezeti hőmérsékletet és a relatív páratartalmat kombinálja. Ezt a mutatót széles körben használják, mivel a legtöbb meteorológiai állomás könnyen összegyűjti a szükséges éghajlati adatokat. A THI-ben azonban számos módosítás történt az elmúlt időszakban, beleértve a hőmérsékletmérési egység egyszerű átváltását °C-ról °F-re vagy fordítva, valamint a hőmérséklet és a páratartalom eltérő relatív súlyozását. A korábbi szakirodalom a 72-es THI-értéket javasolta a szarvasmarhák hőérzetének felső küszöbértékeként, de a legújabb kutatások a 65-ös (mint a napi legalacsonyabb érték) és a 68-as (mint a napi átlag) küszöbértéket javasolják a nagy termelésű tejlő tehenek esetében. Hét különböző

THI-egyenlet értékelése során azonban azt találtuk, hogy a THI-küszöbértékek a földrajzi elhelyezkedés és az alkalmazott egyenlet függvényében változhatnak. Ebben a tekintetben a páratartalom magasabb súlyozása nedves éghajlaton hatékony volt, míg a száraz hőmérséklet magasabb súlyozása száraz éghajlaton megfelelőbb volt.

A THI-módszerek azonban nem vették figyelembe az olyan hőnyereséget vagy hővesztéset befolyásoló fontos éghajlati változókat, mint például a szélesebbesség és a napsugárzás, valamint az állatok egyéni tényezőit, beleértve az egészségi állapotot, a genotípust és a szőrzet jellemzőit. A különböző THI küszöbértékek nem vették figyelembe az állat- vagy gazdálkodási tényezőket sem, amelyek hasonló hőviszonyok között is különböző módon befolyásolhatják a szarvasmarhák egyéni hőreakcióját.

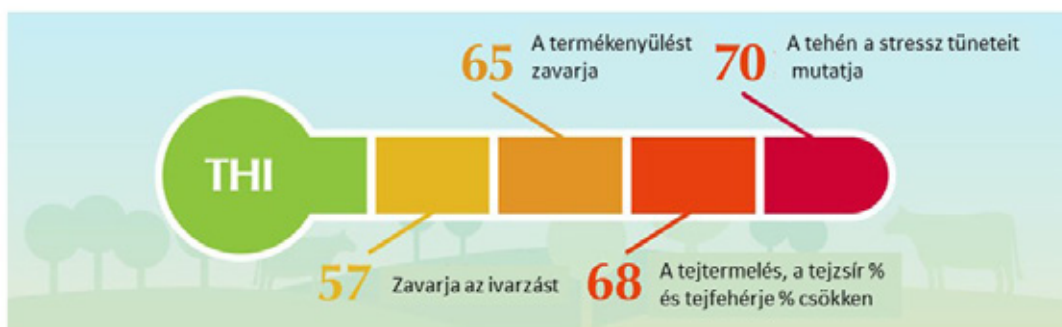
Az "éghajlati régió" jellemzésének legelterjedtebb módja manapság az egy napon belüli olyan órák száma és az egy év alatt mérhető olyan napok száma, amikor a THI 68-nál nagyobb.

**Hőterhelési index (HLI)** - A THI korlátainak kiküszöbölésére kifejlesztették a hőterhelési indexet (HLI), amely a hőmérséklet és a páratartalom mellett olyan éghajlati paramétereket is figyelembe vesz, mint a napsugárzás és a szélesebbesség. Ez az index figyelembe veszi az állatok paramétereit (genotípus, szőrzet jellemzői, egészségi állapot, akklimatizáció stb.) és a gazdálkodási gyakorlatot is. A HLI-modell a hőmérséklet és a napsugárzás, a relatív páratartalom és a szélesebbesség hatásának figyelembevétele érdekében a fekete gömb hőmérsékletét is magában foglalja. A HLI-indexet leginkább a legeltetési rendszerekben használják, sokkal kisebb mértékben használatos az istállózott tartású tehenek esetében.



**Az egyéni megközelítés fontossága** - A legtöbb hőindex és a hőkomfortra vonatkozó modellalapú becslések az állatok átlagos reakciójának állomány szintű előrejelzésére szolgálnak.

Ezek az indexek potenciális kockázatot jelentenek azon egyedek számára, amelyek nem esnek az állományra/csoportra meghatározott felső határérték alá. Több tanulmány is jelzi a szarvasmarhafajták eltérő képességét a hőszélességgel való megbirkózásra. Az európai fajták például alacsonyabb hőmérsékleten is nagyobb légzési sebességgel reagálnak, mint a Bos indicus fajták. Általánosságban elmondható, hogy a trópusi eredetű fajták hőtűrőbbek, mint a mérsékelt éghajlatú fajták, és ezért hasonló hőviszonyok mellett eltérő enyhítő intézkedéseket igényelhetnek.



**A THI index megítélése tejelő tehén esetében (Coller és mtsai, 2012)**

Temp.	Hőmérséklet relatív páratartalom %																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
72	22.0	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	73	73
73	23.5	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	74
74	24.5	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
75	24.0	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
76	24.5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76
77	25.0	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76
78	25.5	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
79	25.0	67	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77
80	25.5	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78
81	27.0	68	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78
82	28.0	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79
83	28.5	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80
84	29.0	70	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81
85	29.5	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82
86	30.0	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82
87	30.5	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83
88	31.0	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83	84
89	31.5	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83	84	85
90	32.0	72	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83	84	85	86
91	33.0	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83	84	85	86
92	33.5	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
93	34.0	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
94	34.5	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
95	35.0	75	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
96	35.5	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
97	36.0	76	76	77	77	78	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
98	36.5	76	77	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
99	37.0	76	78	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
100	38.0	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
101	38.5	77	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
102	39.0	78	79	80	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
103	39.5	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
104	40.0	79	80	81	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
105	40.5	79	80	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
106	41.0	80	81	82	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
107	41.5	80	81	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
108	42.0	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
109	43.0	81	82	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
110	43.5	81	83	84	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
111	44.0	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
112	44.5	82	84	85	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
113	45.0	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
114	45.5	83	85	86	88	89	92	92	94	95	96	97	98	99	100	102	103	105	106	108	110
115	46.0	84	85	87	88	90	92	93	95	96	97	98	99	101	102	104	106	107	109	110	112
116	46.5	84	86	87	89	90	93	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	110	111	113	114
117	47.0	85	86	88	89	91	93	94	96	98	99	101	102	104	106	107	109	111	112	114	115
118	48.0	85	87	88	90	92	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	110	111	113	115	116
119	48.5	85	87	89	90	92	94	95	97	99	101	102	104	106	107	109	111	112	114	116	117
120	49.0	86	88	89	91	93	95	96	98	100	101	103	105	106	108	110	111	113	115	117	118

**stresszhatár**

A légzésszám meghaladja a 60/perc értéket. A tejcsökkenés megkezdődik. A szaporodásbiológiai problémák már mérhetőek. A végbélben mért hőmérséklet 38,5 °C.

**közepes-gyenge stressz**

A légzésszám meghaladja a 75/perc értéket. Tejcsökkenés, szaporodásbiológiai problémák. A végbélben mért hőmérséklet 39 °C.

**közepes-erős stressz**

A légzésszám meghaladja a 85/perc értéket. Tejcsökkenés, szaporodásbiológiai problémák. A végbélben mért hőmérséklet 40 °C.

**erős stressz**

A légzésszám meghaladja a 120-140/perc értéket. Tejcsökkenés, szaporodásbiológiai problémák. A végbélben mért hőmérséklet 41 °C.



## 1.2. Élettani és viselkedési mutatók

Az állatok stressz hatására többnyire megváltoztatják fiziológiájukat és/vagy viselkedésüket. A viselkedés hatékony eszköz annak értékelésére, hogy egy állat hogyan birkózik meg a környezetében lévő

### 1.2.1. Testhőmérséklet

A szarvasmarháknak egy szűk tartományon belül kell tartaniuk testhőmérsékletüket, hogy a testük optimálisan működhessen. A szarvasmarha a belsőleg termelt hőn kívül további hőt vesz fel a napsugárzásból, a talajról és a közvetlen környezetéből, valamint magából a levegőből, ha a levegő hőmérséklete magasabb, mint az állat testfelszíni hőmérséklete. A szarvasmarha hőmérséklete általában 38 és 39 °C között mozog, a környezeti hőmérséklettől függően  $\pm 0,5$  °C-os napi ingadozással, amely kora este éri el a csúcspontját, és kora reggel éri el a minimumát.



Túlságosan meleg körülmények között az állatok testhőmérséklete megemelkedik, ami akár a tűréshatár feletti értékhez is vezethet. Ez a testszövetek és szervek károsodását és akár megbetegedést is okozhat. A 41 °C-nál magasabb testhőmérséklet halálos lehet. **A szarvasmarhák testhőmérséklete (akár a maghőmérséklet, akár a felszíni hőmérséklet) a hőstressz indikátoraként használható.** A szarvasmarha testhőmérsékletének értékére hatással van a mérési hely anatómiai elhelyezkedése (dobhártya, végbél, hüvely, retikulum, bőr), valamint a mérési módszer, nevezetesen a kézi hőmérő, az infravörös hőmérő, a rádiótelemetria vagy a hőmérséklet-adatgyűjtő.

Hagyományosan a **rektális hőmérsékletet** tekintik a tehen testhőmérsékletének megbízható mutatójának, de folyamatos mérése nagyon korlátozott. A hüvelyi hőmérséklet nagymértékben összefügg a rektális

stresszorokkal. A viselkedés összefügg az állat belső élettani folyamataival és (nem invazív) vizuális mutatója a jóllétnek.

hőmérséklettel. A testhőmérséklet rövid távú hüvelyi nyomon követésére CIDR-eszközöket lehet használni, amelyekhez hőmérséklet-adatgyűjtőket csatolnak (természetesen csak korlátozottan alkalmazhatók nőivarú szarvasmarhák esetében).

A tehenek testhőmérsékletének a beültetett és jeladóval ellátott hőmérséklet-adatgyűjtővel történő mérése kimutatta, hogy a hőmérséklet változása a környezeti körülményektől függ, és 1-5 órával követi a környezet hőmérsékletét. Ezért úgy tűnik, hogy bármely időpontban mért adat az adott mérést megelőző 1-5 óra hőstresszére utal. A hőérzékenység és a hőérzékenység egyéni változékonysága jelentős szerepet játszhat a rögzített adatok értelmezésében. A test maghőmérsékletének a mérésével vagy a felszíni hőmérséklet nyomon követésével az a probléma, hogy a jelenlegi technológiák nem praktikusak vagy nem alkalmasak a szarvasmarhák folyamatos, hosszú távú nyomon követésére nagy állományokban. Az adatok tárolására szolgáló memória, az akkumulátor élettartama, a rövid kommunikációs hatótávolság és a költségek miatt. Ezenkívül a testhőmérséklet-monitorozás általában nem végezhető valós időben. Napjainkban leginkább kutatási célokra alkalmas módszer, a tehenészetek számára csak korlátozottan áll rendelkezésre.



CIDR applikátorok



### 1.2.2. Légzési sebesség és zihálás

A szarvasmarhák légzési sebessége és ziháló viselkedése túlnyomórészt a környezeti feltételekhez kapcsolódik, és vannak olyan specifikus hőmérsékleti küszöbértékek, amelyek felett növekszik a mértékük. A szarvasmarhák légzési sebessége a hőstressz kulcsfontosságú mutatója, mivel a különböző hőmérséklet-páratartalom kategóriák befolyásolják.



A kutatások kimutatták, hogy 21 és 25 °C közötti környezeti hőmérsékleten a nap legmelegebb időszaka előtt 4 órával kezdődik a magasabb légzésszám és a legmelegebb órát követő 4 órán át tart. Különböző ajánlások léteznek arra vonatkozóan, hogy milyen küszöbérték felett van szükség hőstresszt enyhítő intézkedésekre. **Normális értéknek a 40 légzés/perc alatti értéket javasolják, bár ennél valamivel magasabb, 60 körüli értéket is ajánlottak. Súlyos hőstressz helyzetben a tejelő szarvasmarhák légzési sebessége meghaladhatja a 150 légzés/perc értéket.**

### 1.2.3. Szívritmus

Tanulmányok kimutatták, hogy a pulzusszám a belső testhőmérséklettel együtt jelezheti a hőstresszt. Mivel a szívfrekvencia és a légzésszám pozitívan korrelál, ezért a szívfrekvencia a hőstressz potenciális mutatója lehet, figyelembe véve a zihálási képesség egyéni

### 1.2.4. Anyagcsere és endokrin profil

Az anyagcsere és endokrin változások nyomon követése segíthet a stresszesemények felismerésében, mivel a hőstresszre adott vérszintű válaszok megelőzhetik a látható viselkedési vagy fiziológiai változásokat. A plazma kortizolkoncentrációja a magas hőmérsékletnek kitett teheneknél jelentősen emelkedik a kiindulási értékhez képest. A magas

Nagyszámú állat esetében a légzési sebesség vizuális értékelése időigényes, és az állatok zavarásának minimalizálásához szükséges jelentős távolságból nehéz fenntartani a pontosságot. Ráadásul a légzésszám nem veszi figyelembe a légzés dinamikáját, például a nyáladzást és a nyitott szájjal történő zihálást, amely a növekvő hőstresszel együtt jár. A szarvasmarhák légzésdinamikája a légzési viselkedés vizuális változásait figyelembe vevő zihálási pontszámként értékelhető.

A szarvasmarhák **zihálási pontszáma** azonban genotípusonként és egyénileg is változik. Egy adott csoporton belül nem minden állat reagál egyformán egy adott hőterhelési eseményre, ezért az átlagos zihálási pontszámon alapuló döntések nem feltétlenül veszik figyelembe az egyéni változékonyságot. Ezen túlmenően a zihálási pontszám csak egy időpontra vonatkozik, nem folytonos mutató.



eltéréseit, és felhasználható a rövid távú hőreakció értékelésére, míg a hosszabb ideig tartó hőterheléshez további paraméterekre, például a légzésszámra és a testhőmérsékletre is szükség lehet.

környezeti hőmérsékletnek kitett teheneknél a plazma szomatotropin, trijód-tironin és tiroxin szintjének csökkenése mérhető általában.

Az inzulinszerű növekedési faktor-1 (IGF-1), a plazma glükóz, a plazma C-vitamin és a nem észterezett zsírsavak (NEFA) koncentrációjának csökkenése figyelhető meg a hőstressz hatására.



Ellentétes vélemények vannak arról, hogy a vér metabolikus profiljának változása a hőstressz közvetlen következménye vagy a csökkent szárazanyag-bevitelből eredő közvetett hatás.

A szarvasmarhák hőstresszre adott anyagcsere-válasza az állat fiziológiai állapota miatt is változik, és a kereskedelmi gyakorlatban való alkalmazásakor

### 1.2.5. Viselkedési mutatók

A hőterheléses körülmények között tartott szarvasmarhák viselkedése megváltozik a hősemleges körülmények között tartott szarvasmarhákéhoz képest. A viselkedés alapvető jellemzői, mint például a tevékenységek hossza, a tevékenységek változékonysága, a pihenés változékonysága, a hőstressz hatására megváltozhatnak. A hőstressznek kitett szarvasmarhák többet isznak a párolgási vízvesztés pótlása érdekében, és növelik az álló helyzeteket, ami feltehetően fokozza a hűtést azáltal, hogy nagyobb felületet tesznek ki a környezetnek. A hőstresszrel összefüggésbe hozható a fekvés és az evés gyakoriságának csökkenése. Az evési gyakoriság csökken a hőstresszrel: **a napi evés gyakorisága melegben 15-ről 3 alkalomra csökkent** (nagyobb evési mennyiséggel). Az állatok általában



óvatosságra van szükség. Gyakorlati korlátok, mint például a költségek és a technológia kifinomultsága, szintén csak kísérleti körülményekre korlátozhatják alkalmazásukat, hacsak nem fejlesztenek ki bioszenzorokat az alacsony költségű folyamatos megfigyeléshez.

kerülik az evést a nap melegebb szakaszaiban, és többet esznek a kora reggeli és késő délutáni órákban, beleértve az éjszakai órákat is.



Egy holstein tehennel végzett vizsgálatban a napi teljes aktivitás nőtt, és a teljes nappali és éjszakai kérődzési időtartam csökkent a hőmérséklet-páratartalom index (THI) növekedésével. Hasonlóképpen a nyári napi kérődzési idő negatív összefüggést adott a napi maximális THI-vel (>72). **A kérődzési mintázatban egyértelmű eltolódás volt tapasztalható: a teljes napi kérődzés több mint 60%-a éjszaka történt.**

A hőstresszre adott viselkedési válaszok összefüggnek az állatok jellemzőivel, beleértve a fajtát, a szőrszínt, a testsúlyt, a kondícióértéket, a nemet, a temperamentumot, a fiziológiai állapotot, az akklimatizálódást és más egyéni jellemzőket.

## 2. A hőstressz nyomon követése tejelő teheneiben: automatizálás és szenzorok 2.

A hőstresszrel összefüggő termelés kiesés, a veszélyeztetett jóllét és a szarvasmarhák elhullása globális aggodalomra ad okot, amely az éghajlatváltozás és a felmelegedés összefüggésében egyre nagyobb méreteket ölt. Az állatállomány jóllétének és teljesítményének fenntartása érdekében fontos az éghajlati szélsőségek hatásainak nyomon követése. A mezőgazdasági rendszerek egyre inkább automatizálódnak, és az állatok távoli/automatizált

nyomon követése végső soron az emberi megfigyelés korlátainak leküzdését jelenti a gazdaság irányítása céljából. Számos távoli/automatizált megfigyelési technikát tesztelnek jelenleg, más technikákat pedig már validáltak is a szarvasmarhák viselkedésének és egészségi állapotának megfigyelésére, beleértve a hőstresszt is. Ezen módszerek egy részét a világ fejlett tejjgazdaságaiban már alkalmazzák.



Ezen fejezetek célja, hogy ismertesse a létező, szenzoros módszereket a szarvasmarhák hőstresszre adott válaszainak nyomon követésére, viselkedési és fiziológiai mutatókon (zihálási pontszám és testmaghőmérséklet), valamint éghajlati mutatókon (hőmérséklet-páratartalom index, THI és hőterhelési index, HLI) keresztül. Az ilyen technológiák segíthetnek a hőstresszben szenvedő tehének egyedi vagy csoportos azonosításában, valamint a hőre érzékeny állatok felkutatásában. A fejlett érzékelőrendszer segítségével pedig később alkalmazhatóvá válik egy hőstresszt enyhítő stratégia.



## 2.1. Az állaton elhelyezett szenzorok

### Légzési sebességet figyelő érzékelő

Az izomtónushoz, a mellkas mozgásához és a kilélegzett levegőhöz kapcsolódó nyomásváltozások önállóan nyomon követhetők. Egy kísérletben egyértelmű különbséget találtak a napsütötte és az árnyékban lévő állatok légzési sebessége között. Az adatokat egy folyamatosan működtetett vékonyrétegű nyomásérzékelő és egy elemmel működő mikroszámítógép segítségével gyűjtötték. Egy hasonló érzékelőrendszerrel megállapították, hogy a megfigyelt légzésszám adatok megfeleltek a testhőmérsékletnek és a környezeti hőmérsékleti viszonyoknak (THI). Egy automatizált, hosszú távú légzésszám-monitorozó rendszert is kifejlesztettek és validáltak tejelő tehénekhez. A mágneses érzékelőkön alapuló mikro-elektromos-mechanikai rendszer (MEMS) pontosabb légzésjeleket és nagyobb térbeli felbontást biztosít kisebb mérési hibával. Ez a rendszer alternatívát jelent a meglévő légzésszám-érzékelőkkel szemben.

### Rádiótelemetriás hőmérsékletérzékelők

Bioszenzorokat fejlesztettek ki a szarvasmarhák testhőmérsékletének naplózására és a hőszabályozási képesség egyéni variabilitásának figyelembevételére. Az adatok továbbítása nélküli hőmérséklet-nyilvántartó érzékelők azonban korlátozzák a valós idejű nyomon követést. A hőmérsékletet érzékelő füljelzők, a bendőretikuláris bólusok, az intrarektális és intravaginális eszközök, valamint a viselhető és beültethető (mikrochipes) eszközök távoli adattovábbítási képességgel további fejlesztést igényelnek a hőstressz előrejelzési modellek tekintetében, a valós idejű hőmérsékleti adatok rögzítéséhez. A lenyelhető bioérzékelők és a rádiófrekvenciás azonosító (RFID) érzékelők képesek a szarvasmarhák

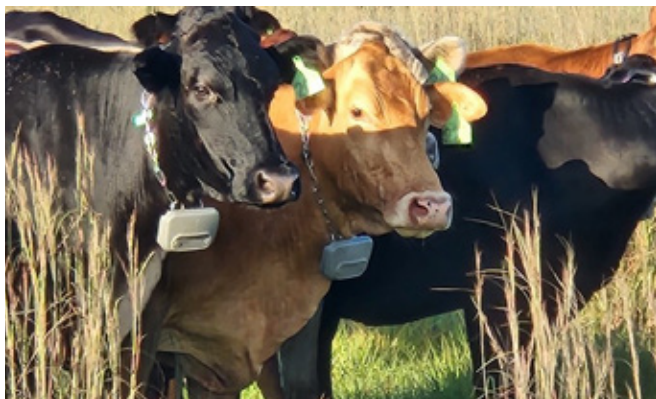
belső hőmérsékletének nyomon követésére. A rádiótelemetriás hőnaplók adatai arra utalnak, hogy a szarvasmarhák hőszabályozási reakcióinak nyomon követése a testhőmérséklet folyamatos mérését igényli. A telemetrius mérések azonban még mindig költségesek, és csak rövid távolságokon, kis számú állat esetében és rövid ideig működnek. Az eltérített, elnyelt, interferált vagy torzított rádiófrekvencia hamis adatokat szolgáltathat a valós idejű adatátvitel során. A test maghőmérsékletének rádiótelemetrius mérése, amelyet tejelő szarvasmarhák hasüregébe ültetett adó és adatgyűjtő segítségével végeztek, azt mutatta, hogy a maghőmérséklet változása a környezeti körülményektől függ, és 1-5 óra eltérést mutat a környezeti hőmérséklettől.



### Hőmérséklet- és mozgásérzékelőkkel ellátott helymeghatározók

A globális helymeghatározó rendszeren (GPS) alapuló technológiát egyre gyakrabban használják az állatok kültéri megfigyelésére. A könnyű GPS-nyakörv-vevők alkalmasak az állatok helyzetének 5 perces időközönkénti nyomon követésére. Az állatok viselkedési jellemzői és a legelő kihasználtsága értékelhető a GPS-adatok földrajzi információs rendszerbe (GIS) történő importálásával.





Elektronikus kerítés legelő marháknak

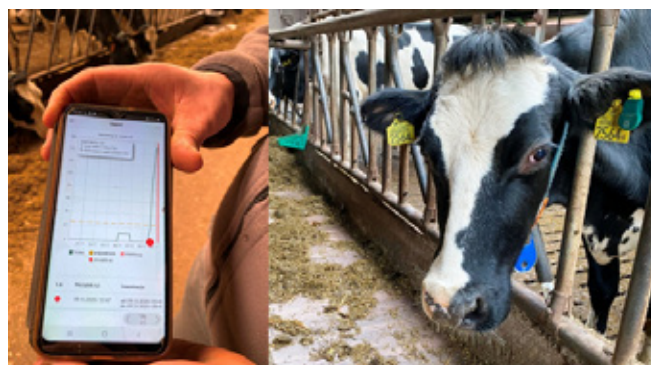
A kiegészítő hőmérséklet- és kéttengelyes (2D) mozgásérzékelőkkel ellátott GPS-nyakörvek használata intenzíven tartott húsmarháknál kimutatta, hogy a tehének 30 és 35 °C közötti hőmérséklet-tartományban inaktívan töltötték az időt az itatóhely közelében, és amikor a hőmérséklet csökkenni kezdett, egymás után kezdtek legelni. **A kereskedelemben napenergiával működő GPS-nyomkövetőkkel ellátott füljelzők is kaphatók. A szarvasmarhák nyakra szerelt GPS-alapú virtuális kerítés (VF) technológiái** egyre inkább előtérbe kerülnek, és valós idejű megoldást jelentenek az állatok megfigyelésére, az állatok mozgásának ellenőrzésére, sőt, ha további hőmérséklet- és mozgásérzékelőkkel integrálják őket, akár célzott hőségcsökkentésre is, az érzékeny szarvasmarhák elkülönítésével.

A valós idejű helymeghatározó rendszerek (RTLS) olyan nyomkövető rendszerek, amelyek egy rögzített vevőből vagy olvasóból állnak, és vezeték nélkül azonosítják az állatok helyadatait. Ezt többnyire beltéri körülmények között vagy meghatározott zárt területen használják a tehén egyedi elhelyezkedésének és mozgásának feltérképezésére (a takarmány, az itató, a ventilátor és a box közelében). Az RTLS-alapú helyadatok felhasználhatók olyan algoritmusok kidolgozására, amelyek előre jelezhetik az evési, ivási, fekvési és egyéb viselkedést. Az ilyen rendszerek képesek azonosítani azokat az állatokat egyedileg, amelyek több időt töltenek az itató, az árnyék vagy a ventilátor közelében, azaz meghatározható az egyedi hőérzékenység.

#### Akcelerometer érzékelők

A gyorsulásmérők olyan eszközök, amelyek egy szerkezet mozgásának gyorsulását mérik a 2D vagy 3D térben. Működésük során a statikus és dinamikus gyorsulást elektromechanikus érzékelők segítségével rögzítik. Ezek a gyorsulási adatok hatékony algoritmusokon keresztül átalakíthatók

úgy, hogy megértsük egy tárgy állapotát. A tehén viselkedésének van egy jellegzetes testmozgásképe. A 3D-ben rögzített statikus állapotok vagy dinamikus mozgások meghatározott algoritmikus átalakítással felhasználhatók az alapvető viselkedések osztályozására. Például a szarvasmarhák evését, ivását, legelését, kérődzését, fekvését/pihenését, állását és aktivitását a gyorsulásmérők jó korrelációval és közepes vagy nagy érzékenységgel mérik a vizuális megfigyelésekhez képest. Háromtengelyes gyorsulásmérőket használtak a hátrálás, az előrelépés és a rúgás mérésére, hogy teszteljék a stresszt és a kellemetlen érzést a legeltetési rendszerben tartott tejelő teheneknél. Ezen kívül a zihálást is tudták mérni húsmarháknál. Ezért a szarvasmarhák gyorsulásmérés-alapú megfigyelési **adatai lehetővé tehetnének egy multimodális viselkedésalapú hőstressz-előrejelzési/riasztási modellt a korai enyhítő beavatkozásokhoz.** Újabban a nagyüzemi tejgazdaságokban is megjelent ez a módszer.



A **füljelzős gyorsulásmérő szenzorok a legigérete-sebbek** e tekintetben, mivel mérsékelt és forró körülmények között validálták őket a zihálási pontszámok mérésére. További munkára van azonban szükség az ilyen rendszerek validálásához hőhullámok idején, amikor lényegesen magasabb zihálási pontszámokat regisztrálnak. A validált szenzoradatokat fel lehet használni a zihálási időtartam felső küszöbértékének meghatározásához, amely felett a hőstressz enyhítésére irányuló intézkedések aktiválhatók. Az ilyen nyomon követés hasznos, az állatok egyedi szintjén is alkalmazható, lehetővé téve a szarvasmarhák jóllétének javítását a hőstressz, az egészség és a termelés terén.





## 2.2. Az állathoz nem kapcsolódó szenzorok

### **Klímaadatokon alapuló okostelefonos alkalmazások**

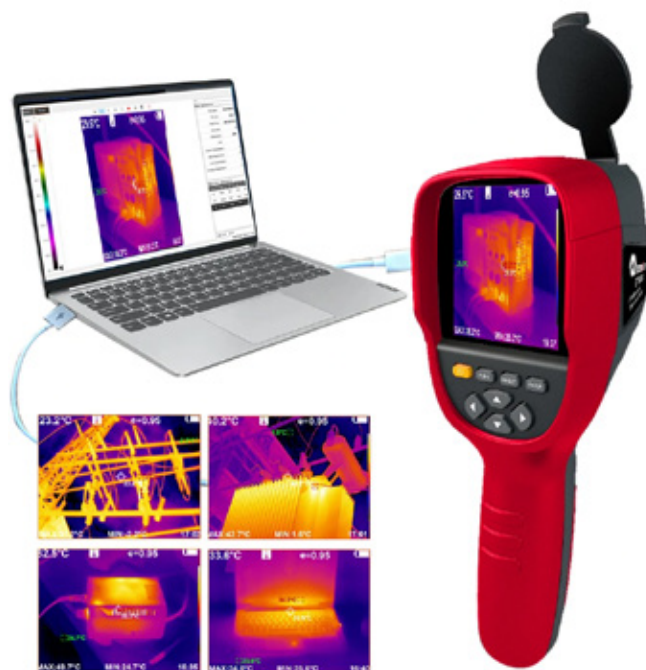
Az éghajlati adatok folyamatosan beszerezhetők a helyszíni meteorológiai állomásokról és feldolgozhatók. A vezeték nélküli kapcsolattal rendelkező meteorológiai állomások adatokat továbbíthatnak egy gyakorlatilag bárhol elérhető hálózatba. Hasonló protollokat használó okostelefon-alapú alkalmazásokat fejlesztettek ki, amelyek az aktuális és előre jelzett időjárás információkat egyesítik az egyes állatokkal kapcsolatos információkkal, ezzel segítve a döntéshozatalt a hőstressz csökkentését célzó riasztások küldésével. A Bluetooth-kapcsolattal rendelkező hordozható klímaadatgyűjtő eszközök különböző mikroklimatikus területeken képesek kiszámítani a THI-t nagyméretű mezőgazdasági környezetekben. Az éghajlati adatokon alapuló értékelések azonban az állatok hőstresszre adott válaszában csak közvetett mérőszámok. Ezekben az alkalmazásokban a választott indexek rögzített küszöbértéke ugyan szolgálhatja a gazdálkodókat az „állomány helyzetének” nyomon követésében, de ez az információ nem alkalmazható a szarvasmarhák egyedi esetében.

### **Videó megfigyelés és mesterséges intelligencia**

A „mesterséges szem”, azaz a videomegfigyelés lehet a legjobb (állatokon kívüli) megfigyelőeszköz a jövőben. Egy kísérlet során videókamerával (éjszakai piros fényű videó) figyelték meg nyári melegen kitett tejelő szarvasmarhák fiziológiai és viselkedésbeli változásait. Azt találták, hogy a légzésszám, a bőr hőmérséklete és a testhőmérséklet nőtt a THI mellett. A mesterséges neurális hálózat és a mesterséges intelligencián alapuló megközelítések ígéretesnek bizonyultak az állatok termikus állapotának kísérleti körülmények közötti monitorozásában. Figyelembe véve a technológiai fejlődés sebességét, ezek nagy valószínűséggel a közeljövőben gyakorlati körülmények között is hasznosak lesznek. A rögzített adatbázis mérete azonban problémát jelenthet az információ tárolása és továbbítása során. Az adattömörítés (kevésbé memóriagigényes képekké vagy videókká való átalakítás) módszereinek fejlesztése, valamint a felhőalapú adatokból származó, fejlett funkciók módszerei potenciális jövőbeli fejlesztések ezen a téren. Az adatok helyszíni azonnali elemzéséhez szükséges kapacitásépítés minimálisra csökkentheti az adatátviteli és tárolási követelményeket.

### **Infravörös termográfia (IRT) - infrakamera**

Az infravörös termográfia (IRT) képes megbecsülni a szarvasmarhák testfelszíni hőmérsékletét. Egy felmérés során a különböző testtájak **infrakamerás** képeit gyűjtöttük a testfelszíni hőmérsékleti mintázatok mérésére, és azt találtuk, hogy szorosan korrelálnak a THI-vel és a jobb oldali, a bal oldali és a homlok hőmérsékletével. Emellett az **infrakamerás** homlokhőmérséklet is jó korrelációt mutatott a rektális hőmérséklettel. Infravörös felvételeket használtunk a légzésszám mérésére, hogy értékeljük a stresszt és a kényelmetlenséget a tehének legelő alapú rendszerében. Az orrlyukakon keresztül légáramlás folyamatos **infrakamerás** képalkotásával mért légzésszám jó egyezést mutatott az élő és videófelvétel alapú mérésekkel. Ez az eredmény arra utal, hogy további fejlesztésekkel az **infrakamera beépíthető a szarvasmarha hőreakciójának távfelügyeletébe**. Az **infrakamerás** képalkotáshoz és videókhöz azonban olyan ellenőrzött környezetre van szükség, amely további kifinomult szoftvert igényel az elemzéshez.



*Összefoglalva, a napjainkban fejlesztés alatt álló új és kifinomult „érzékelő és átviteli” technológiák segítenek a tejtermelőknek a hőstresszben szenvedő tehének egyedeinek vagy azok csoportjainak azonosításában, a hőcsillapító eszközök időben és hatékonyan történő aktiválásában, valamint a hőérzékeny állatok megtalálásában.*

