

MIKROKLIMATO TYRIMAS ARKLIDĖJE

Dovilė STAKYTĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: dovile.stakyte@vdu.lt

Santrauka

Šiame straipsnyje nagrinėjama arklidės mikroklimato parametrų (temperatūros ir santykinio drėgumo) dinamika žiemos ir vasaros laikotarpiais bei jų įtaka arklių gerovei. Tyrimo tikslas – įvertinti esamą mikroklimatą pagal temperatūros ir drėgumo indeksą (THI) ir pasiūlyti inžinerinius sprendimus jam optimizuoti. Tyrimas atliktas 25 gardų apšiltintoje arklidėje naudojant „Termioplus“ duomenų kaupiklius. Rezultatai parodė, kad šaltuoju metų laiku esama šachtinė vėdinimo sistema neužtikrina pakankamo drėgmės pašalinimo, o tai didina kvėpavimo takų ligų riziką. Vasaros metu užfiksuotas sunkus šilumos stresas, kai temperatūra arklidėje viršijo rekomenduojamas normas. Siekiant išvengti arklių perkaitimo ir optimizuoti išteklių sąnaudas, siūloma įdiegti automatizuotą adiabatinio aušinimo sistemą (ašinius ventiliatorius su rūko purkštukais), valdomą pagal THI rodiklius. Remiantis analogiškais tyrimais, toks sprendimas leistų ne tik užtikrinti stabilią gyvūnų gerovę palaikant saugų THI lygį, bet ir sumažinti elektros bei vandens suvartojimą.

Reikšminiai žodžiai: arklidė, mikroklimatas, šilumos stresas, THI indeksas, adiabatinis aušinimas, ventiliacija, gyvūnų gerovė.

Įvadas

Arklidžių mikroklimatas yra vienas svarbiausių veiksnių, lemiančių arklių sveikatą ir bendrą gerovę, kadangi šie gyvūnai didžiąją laiko dalį praleidžia uždarose patalpose. Optimalią aplinką formuoja tokių parametrų kaip temperatūra, santykinis oro drėgnis, efektyvi ventiliacija ir minimali kenksmingų dujų bei dulkių koncentracijos pusiausvyra. Šių sąlygų nesilaikymas, ypač didelės drėgmės ir prastos oro apykaitos derinys, sukuria idealią terpę amoniako kaupimuisi ir patogeninių mikroorganizmų dauginimuisi kraike bei pašaruose. Tai yra pagrindinis veiksnys, skatinantis sunkių kvėpavimo takų ligų, ypač sunkios arklių astmos, kuri tiesiogiai susijusi su organinių dulkių ir endotoksinų įkvėpimu, vystymąsi (Mańkowska, Witkowska, 2024). Be to, arklidės architektūra ir jos gebėjimas palaikyti stabilius mikroklimato parametrus daro tiesioginę įtaką gyvūnų vegetacinei nervų sistemai. Įrodyta, kad esant neoptimaliam mikroklimatui, kurį lemia architektūriniai trūkumai (pvz., aklinos sienos ir nepakankamas erdvės tūris vienam arkliui), gyvūnams pasireiškia mažesnis širdies ritmo kintamumas, o tai rodo padidėjusį fiziologinio streso lygį ir sumažėjusias organizmo adaptacines galimybes (Poochipakorn et al., 2025). Taigi, kompleksinė oro aplinkos parametrų kontrolė yra ne tik kasdienio komforto klausimas, bet ir pagrindinis reikalavimas lėtinių ligų profilaktikai bei arklių emocinės ir fizinės pusiausvyros palaikymui.

Temperatūros ir drėgumo indeksas (THI – Temperature-Humidity Index) yra pagrindinis kompleksinis rodiklis, naudojamas gyvūnų šiluminės apkrovos lygiui ir terminiam komfortui įvertinti. Jis sujungia aplinkos temperatūros ir santykinio oro drėgumo rodiklius į vieną apskaičiuojamą vertę. Kadangi arkliai turi didelę raumenų masę, kuri aktyvumo metu generuoja daug šilumos, ir palyginti mažą kūno paviršiaus plotą šilumai atiduoti, aukštos temperatūros ir didelės drėgmės derinys kritiškai sumažina natūralaus vėsinimosi, garinant prakaitą, efektyvumą (Kang et al., 2023).

Arkliams racionaliomis (termoneutraliomis) sąlygomis laikoma aplinka, kurioje THI vertė neviršija 68–70; šiame diapazone gyvūno organizmas palaiko bazinę temperatūrą be papildomų fiziologinių sąnaudų. Kai THI rodiklis pasiekia 70–74, prasideda vidutinio šilumos streso fazė („pavojaus“ būseną), kurios metu fiksuojamas padažnėjęs kvėpavimas, širdies susitraukimų dažnis ir kortizolio lygis kraujyje padidėja, o tai reikalauja personalo dėmesio. Esant $THI \geq 75$ reikšmėms, šilumos stresas klasifikuojamas kaip sunkus, keliantis tiesioginę grėsmę sveikatai (šilumos smūgio, anhidrozės ir dehidratacijos rizika) ir reikalaujantis neatidėliotino įsikišimo, pavyzdžiui, aktyvios ventiliacijos ar aušinimo sistemų arklidėse naudojimo (Matsuura et al., 2022). THI stebėjimas yra neatsiejama šiuolaikinio mikroklimato valdymo dalis, nes leidžia prevenciškai koreguoti laikymo sąlygas dar prieš gyvūnams pradėdant rodyti klinikinius perkaitimo ir distreso požymius.

Mikroklimato inžinerija – tai būtent ta riba, kurioje teoriniai rodikliai tampa praktine gyvūnų gerove. Inžineriniai sprendimai temperatūros ir drėgumo indeksui (THI) arklidėse optimizuoti vis dažniau remiasi kombinuotomis garuojamojo (adiabatinio) aušinimo ir priverstinės ventiliacijos sistemomis. Tokių technologijų, kaip tunelinė ventiliacija su aušinimo panelėmis (evaporative pads) arba rūko sistemos (švelnus smulkiadispersinis vandens purškimas esant aukštam slėgiui), veikimo principas pagrįstas sauso termometro temperatūros mažinimu, absorbuojant šiluminę energiją vandens fazinio virsmo iš skystos būsenos į dujinę metu.

Tačiau šių technologijų diegimas slepia rimtą inžinerinį iššūkį. Kadangi arkliai didžiąją dalį perteklinės šilumos atiduoda garindami prakaitą nuo kūno paviršiaus (Brownlow, Mizzi, 2023), arklidės oro prisotinimas vandens garais neišvengiamai padidina santykinį oro drėgnį. Esant nepakankamai oro apykaitai, tai paradoksaliai pablogina bendrą THI rodiklį, sukuriant „šiltnamio“ efektą, kuris blokuoja natūralų arklių gebėjimą atiduoti šilumą. Siekiant išvengti šios problemos, drėkinimo sistemos turi veikti griežtai sinchronizuotai su didelio greičio ištraukiamaisiais ventiliatoriais. Šiuolaikiniai mikroklimato tyrimai, taikant skaičiuojamosios skysčių dinamikos (CFD) metodus, įrodo: norint efektyviai sumažinti šilumos stresą vienu metu naudojant garuojamąjį aušinimą, oro judėjimo greitį gyvūnų buvimo zonoje būtina gerokai padidinti (rekomenduojama daugiau nei 3 m/s, kai lauko temperatūra $>30\text{ }^{\circ}\text{C}$, o drėgnis $>55\%$).

Tai užtikrina nuolatinį perteklinės drėgmės pašalinimą ir THI palaikymą termoneutralioje arba saugioje zonoje (Obando Vega et al., 2022). Tik toks balansas tarp drėkinimo intensyvumo ir ištraukimo tūrio leidžia sukurti mikroklimatą, kuriame arkliai neieško fiziologinių išteklių kovai su perkaitimu.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atlikti lyginamąją arklidės oro temperatūros ir santykinio drėgumo dinamikos analizę žiemos (gruodžio–vasario mėn.) ir vasaros (birželio–rugpjūčio mėn.) laikotarpiais, nustatant nukrypimų nuo patvirtintų zootechninių normatyvų dažnį ir amplitudę.

2. Apskaičiuoti ir įvertinti temperatūros ir drėgumo indeksą (THI) abiem sezonams, siekiant identifikuoti potencialaus šilumos streso laikotarpius ($THI \geq 70$) vasarą bei kritinio peršalimo ar perteklinės drėgmės riziką žiemą.

3. Įvertinti esamos šachtinio tipo ventiliacijos sistemos efektyvumą palaikant optimalų mikroklimatą, ypač atsižvelgiant į drėgmės kaupimosi prevenciją ir termoneutralios zonos užtikrinimą skirtingoms arklių grupėms (sportiniams, mokomiesiems ir privatiems), bei pasiūlyti naują ventiliacijos-aušinimo sistemą, veikiančią adiabatiniu principu.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimų objektas yra arklidė (žr. 1 pav.). Pastatas yra apšiltintas. Didesnė dalis pastato konstrukcijos yra medinė, likusi dalis – mūrinė. Arklidėje įrengtas šachtinis vėdinimas. Arklidė turi atvestą geriamojo vandens sistemą. Apšvietimas įrengtas išilgai arklidės tako. Arklidėje įrengti du išėjimai į lauką bei keturios tarnybinės patalpos, skirtos personalo poreikiams ir amunicijai laikyti. Žirgų apgyvendinimas (Gardai). Iš viso arklidėje įrengti 25 skirtingų dydžių gardai: 20 gardų, kurių išmatavimai yra 4 x 3 m., 3 gardai, kurių išmatavimai yra 4 x 4 m (įrengti taip, kad turėtų bendrą langą), 2 gardai, kurių išmatavimai yra 3 x 3 m (neturi įrengtų langų, tačiau abu yra įrengti tiesiogiai šalia išėjimų). Arklidėje naudojamas kraikas – pjuvenos. Pagrindinis stambusis pašaras – šienas. Žirgams šerti garduose įrengtos ėdžios, o stambieji pašarai dedami tiesiogiai ant žemės. Automatinės girdyklos nėra įrengtos. Žirgams girdyti naudojami kabinami kibirai, kuriuos rankiniu būdu pildo darbuotojai arba žirgų savininkai. Gretima teritorija (Lauko infrastruktūra). Arklidės kieme įrengta vieta žirgų maudymui, naudojama išskirtinai šiltuoju metų laikotarpiu, kol oro temperatūra siekia daugiau kaip +5 °C šilumos. Taip pat kieme įrengti 5 skirtingo dydžio diendaržiai su smėlio danga. Teritorijoje esančiame sode šiltuoju metų laiku papildomai įrengiamos levados žirgų ganymui. Arklidėje laikomi 23 žirgai, turintys skirtingą paskirtį ir krūvio lygį: 7 žirgai – intensyviai sportuojantys Lietuvoje ir Europoje rengiamose varžybose, 5 žirgai – dirba vietinėje jojimo mokykloje. Likę (11 žirgų) – tai privatūs žirgai, naudojami mėgėjiškam sportui arba laisvalaikio praleidimui.



1 pav. Arklidės planas
Fig. 1. Horse barn layout

Tyrimas buvo sutelktas į pagrindinių mikroklimato parametrų – oro temperatūros ir drėgumo – stebėjimą. Tyrimo laikotarpis: šaltasis sezonas (gruodžio–vasario mėn.) ir šiltasis sezonas (birželio–rugpjūčio mėn.). Mikroklimato parametrams tirti buvo naudojami duomenų kaupikliai „Termioplus“. Šių jutiklių matuojamos temperatūros diapazonas yra nuo -30 °C iki +70 °C (darbiniam diapazone tikslumas $\pm 0,5$ °C), o drėgmės – nuo 0 iki 100 % RH (tikslumas ± 2 % RH). Matavimo prietaisai (davikliai) buvo iškabinti keliuose parinktuose taškuose arklidės viduje. Vienas kontrolinis daviklis buvo pakabintas pastato išorėje, siekiant fiksuoti išorės aplinkos parametrus. Siekiant užtikrinti duomenų palyginamumą, tiek šiltojo, tiek šaltojo sezono metu davikliai buvo iškabinti tose pačiose vietose. Mikroklimato parametrai (oro temperatūra ir santykinis drėgnis) arklidėje buvo matuojami nuolat. Siekiant gauti objektyvius duomenis, atspindinčius realias gyvūnų laikymo sąlygas, jutikliai buvo įrengti gyvūnų kvėpavimo zonoje – 1,5 m aukštyje nuo grindų. Matavimo prietaisai buvo pritvirtinti - arklidės centre, atokiau nuo durų ir langų, apsaugant juos nuo tiesioginių saulės spindulių ir skersvėjų. Duomenys buvo registruojami visą tyrimo laikotarpį. Gauti duomenys buvo sugrupuoti pagal sezonus ir mėnesius. Rezultatai buvo lyginami su nustatytais technologiniais mikroklimato normatyvais skirtingoms

arklių grupėms (pavyzdžiui, optimali temperatūra suaugusiems arkliams žiemą yra 5 °C, galimi svyravimai 4–6 °C). Analizės tikslas buvo nustatyti, ar mikroklimatas atitinka gyvūnų gerovės standartus. Klimato komfortui karvidėje įvertinti buvo naudojamas temperatūros ir drėgmės indeksas (THI). Skaičiavimai atlikti pagal šią formulę (Bleizgys ir kt., 2022):

$$THI = (1.8T_m + 32) - (0.55 - 0.0055RH_m)(1.8T_m - 26), \quad (1)$$

kur:

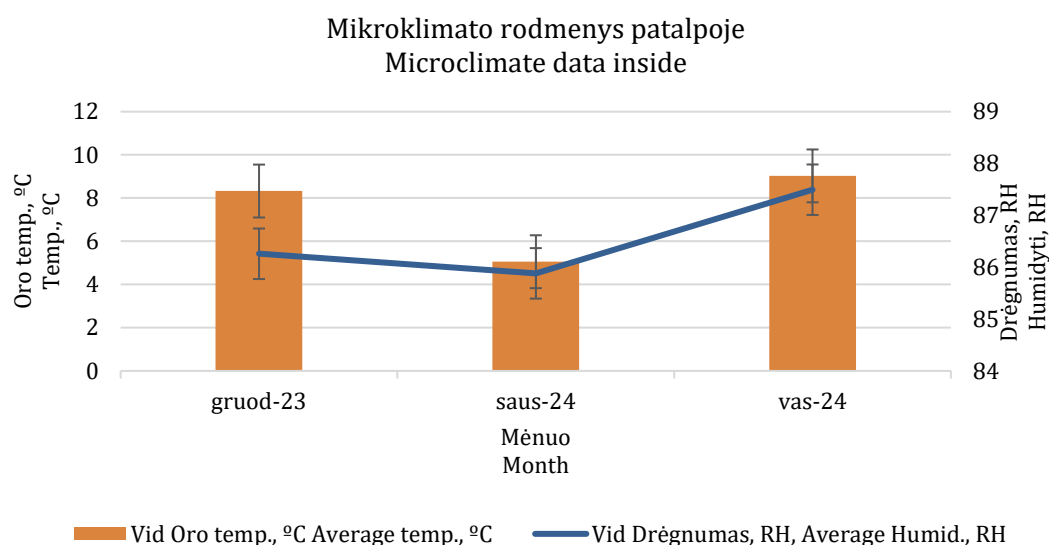
T_m – vidutinė oro temperatūra, °C;

RH_m – vidutinė santykinė oro drėgmė, %.

Ši formulė buvo naudojama indeksui apskaičiuoti tiek lauko orui, tiek orui arklidės viduje.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Mikroklimato analizė šaltuoju metų laiku (gruodžio–vasario mėn.). Duomenų, gautų naudojant „Termioplus“ registratorius, analizė rodo, kad temperatūros režimas arklidėje žiemos mėnesiais buvo santykinai stabilus, tačiau turėjo tendenciją viršyti optimalias suaugusiems arkliams nustatytas reikšmes (žr. 2 pav.).



2 pav. Vidutiniai mėnesio mikroklimato duomenys arklidėje šaltuoju metų laiku

Fig. 2. Monthly average microclimate data in the stable during the cold season

Remiantis technologiniais normatyvais, optimali oro temperatūra suaugusiems arkliams žiemos laikotarpiu yra +5 °C (leistinas svyravimų diapazonas +4 °C – +6 °C). Faktiniai vidutiniai mėnesio rodikliai patalpoje buvo tokie:

- Gruodžio mėn.: vidutinė temperatūra svyravo nuo 8,53 iki 8,72 °C.
- Sausio mėn.: pastebėtas sumažėjimas iki 4,37 – 5,52 °C, o tai yra maksimaliai priartėję prie normos.
- Vasario mėn.: temperatūra vėl pakilo iki vidutinių 8,19 – 9,63 °C reikšmių.

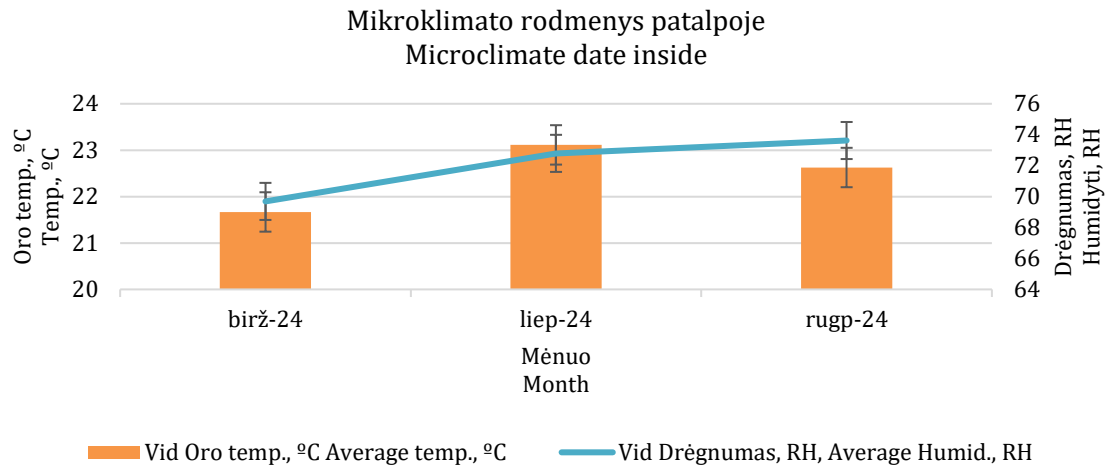
Kritiškiausias parametras žiemos laikotarpiu buvo santykinis oro drėgnis. Esant normatyviniam rodikliui 70 % (leistina iki 85 %), faktinės reikšmės patalpoje dažnai buvo ties riba arba viršijo kritinę atžymą:

- Gruodžio ir sausio mėn. vidutinis drėgnis siekė 84,8–87,8 %.
- Vasario mėn. užfiksuoti didžiausi rodikliai – iki 89,1–91,4 %.

Toks vidutiniškai teigiamų temperatūrų ir perteklinės drėgmės derinys rodo nepakankamą šachtinės ventiliacijos efektyvumą, nes ji nepajėgia visiškai pašalinti gyvūnų išskiriamų vandens garų ir garavimo iš kraiko (pjuvenų). Tai sukuria prielaidas drėgmei kondensuotis ant atitvarinių konstrukcijų ir padidina grybelinių ligų išsivystymo riziką.

Mikroklimato analizė šiltuoju metų laiku (birželio–rugpjūčio mėn.). Vasaros laikotarpiu arklidės mikroklimatas pasižymėjo didele šilumine apkrova. Nors vidutinė patalpos temperatūra sezono metu išsilaikė 20,6–23,3 °C diapazone, buvo užfiksuotos pikinės reikšmės, viršijančios +27 °C (konkrečiai – liepos 1 d.).

Santykinis oro drėgnis vasarą buvo mažesnis nei žiemą ir svyravo nuo 68,1 iki 73,4 %, o tai atitinka zootechnines normas šiltajam metų laikui (žr. 3 pav.). Tačiau, žvelgiant iš arklių fiziologijos perspektyvos, net ir tokios drėgmės reikšmės, esant aukštesnei nei +25 °C temperatūrai, pradeda trukdyti efektyviam prakaito garavimui.



3 pav. Vidutiniai mėnesio mikroklimato duomenys arklidėje šiltuoju metų laiku

Fig. 3. Monthly average microclimate data in the stable during the warm season

Temperatūros ir drėgnio indekso (THI) vertinimas

Kompleksiniam gyvūnų gerovės vertinimui buvo apskaičiuotas THI indeksas. Vasaros laikotarpio skaičiavimų rezultatai rodo:

- Birželio mėn. THI rodiklis vidutiniškai siekė 68–70 vienetų, o tai atitinka termoneutralumo zoną.
- Liepos ir rugpjūčio mėn., dienos temperatūrų pikų metu, THI reikšmės siekė 75–77 vienetus.

Remiantis klasifikacija (Matsuura et al., 2022), didesnės nei 75 vienetų THI reikšmės klasifikuojamos kaip „sunkus šilumos stresas“. Šiais laikotarpiais arkliams, ypač 7 arklidėje laikomiems profesionaliems sportiniams arkliams, kyla perkaitimo rizika, o tai gali neigiamai paveikti jų darbingumą ir atsistatymo po treniruočių greitį.

Aptarimas ir inžineriniai pasiūlymai. Lyginant gautus duomenis su tyrimais galvjininkystės srityje (Bleizgys ir kt., 2022), galima daryti išvadą apie izoliuotų pastatų šilumos kaupimosi problemų identišumą. Tačiau, skirtingai nei šiuolaikinėse karvidėse, kur aušinimo automatizavimas pagal THI leidžia sutaupyti iki 18 % elektros energijos, tiriamoji arklidė pasikliauja išskirtinai natūralia ir šachine ventiliacija.

Pagrindinės nustatytos problemos:

- Žiemos laikotarpis: „Šiltnamio efekto“ rizika dėl didelės drėgmės (daugiau nei 85 %), kuri yra trigeris kvėpavimo takų patogenams.
- Vasaros laikotarpis: THI patekimas į pavojingą zoną (daugiau nei 75 vienetai) dienos valandomis, kas reikalauja aktyvaus aušinimo.

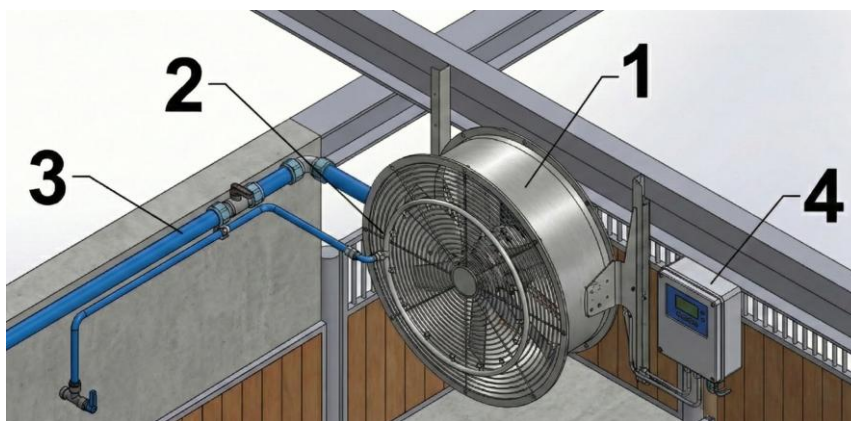
Atlikta gautų duomenų analizė parodė, kad vasaros laikotarpiu šiluminio streso indeksas (THI) dienos metu leistiną 68 ribą viršijo 24 % tirtų dienų. Maksimali THI reikšmė (77) buvo užfiksuota 5 kartus, dėl to arkliams pasireiškė stiprus šiluminis stresas. Analizuojant tipinę karštą vasaros parą nustatyta, kad oro temperatūra dienos metu (nuo 14:00 iki 16:00 val.) viršijo leistiną +25 °C ribą, pasiekdama net +27,2 °C. Pritaikius THI skaičiavimo metodiką paaiškėjo, kad apie 30 % paros laiko (dienos valandomis) indeksas viršijo komforto ribą (THI > 68). Piko metu (16:00 val.) THI reikšmė pasiekė 74,0, o tai rodo, kad arkliai patyrė vidutinį šiluminį stresą. Nors nakties ir ryto valandomis sąlygos grįždavo į komforto zoną (THI apie 62,3), dieną arklidėje susidarydavo nepalankus mikroklimatas, reikalaujantis papildomų vėdinimo ar vėsinimo sprendimų.

Siekiant išspręsti šilumos streso problemą, užfiksuotą liepos ir rugpjūčio mėn., tikslinga įdiegti adiabatinio (garuojamojo) aušinimo sistemas. Adiabatinio proceso fizikinis principas pagrįstas latentinės vandens garavimo šilumos absorbcija. Kai smulkiadispersiniai vandens lašeliai (rūkas) kontaktuoja su šiltu oru, jie pereina iš skystos būsenos į dujinę. Šiam faziniam virsmui reikalinga energija, kuri paimama tiesiogiai iš aplinkos oro, todėl sumažėja jo „sausos termometro“ temperatūra, nepakeičiant bendro sistemos energijos kiekio (entalpijos).

Pagrindiniai inžineriniai sprendimai apima:

- Rūko sistemos (*High-pressure misting*): vandens purškimas esant aukštam slėgiui iki 0,7–1 MPa per purkštukus, sukuriančius 5–15 mikronų dydžio lašelius. Tokie lašeliai išgaruoja akimirksniu, nesudrėkindami kraiko (pjuvenų).
- Garuojamąsias paneles (*Cooling pads*): oras praeina per akytą sudrėkintą medžiagą prieš patekdamas į arklidę.

Tiriamajai arklidei, kurioje laikomi sportiniai arkliai, efektyviausias sprendimas yra ašinių ventiliatorių, aprūpintų žiedinėmis drėkinimo sistemomis, sumontavimas (žr. 4 pav.).



4 pav. Adiabatinio aušinimo sistema (pavyzdys): 1 – ašinis ventiliatorius, 2 – purkštukų sistema (rūko susidarymo žiedas), 3 – aukšto slėgio vandens magistralė, 4 – automatikos blokas (THI valdiklis)

Fig. 4. Adiabatic cooling system (example): 1 – Axial fan, 2 – Nozzle system (misting ring), 3 – High-pressure water line, 4 – Control unit (THI controller)

Šio sprendimo pranašumai:

- Kryptingas srautas: skirtingai nuo statinių rūko linijų, ventiliatorius sukuria galingą oro srautą, kuris akimirksniu nuneša atvėsintas oro mases į žirgo buvimo zoną (gardą).
- Drėgmės kontrolė: priverstinio oro judėjimo ir vandens purškimo derinys užkerta kelią „sąstingio zonų“ su kritiškai didele drėgme susidarymui.
- Valdymo lankstumas: sistema gali veikti dviem režimais: kaip įprastas ventiliatorius (esant dideliame lauko oro drėgnumui) arba kaip aušinimo sistema (kai THI didesnis nei 72).

Skirtingai nei galvijai, arkliai yra labai jautrūs oro drėgnumui. Kadangi adiabatinis aušinimas padidina santykinį oro drėgnį (2–3 % kiekvienam temperatūros sumažėjimo laipsniui), kritiškai svarbu užtikrinti didelį oro apykaitos greitį. Remiantis vasaros laikotarpiu gautais duomenimis, vidutinis drėgnis arklidėje jau yra apie 70 %. Tokiomis sąlygomis adiabatinis aušinimas bus efektyvus tik tuo atveju, jei:

- Bus sukuriama kryptingas oro srautas, kurio greitis 3 m/s (Obando Vega et al., 2022).
- Purkštukų veikimas bus sinchronizuojamas su THI jutikliais, siekiant išvengti perdrėkinimo, kai išorės drėgnis viršija 80 %.

Panašių sistemų automatizuoto valdymo patirtis (Bleizgys, 2022) rodo, kad reguliavimas remiantis THI leidžia sumažinti vandens suvartojimą 43 %, o elektros energijos – 18 %, lyginant su nuolat veikiančiomis sistemomis. Tai leis sumažinti pikinį THI arklidėje nuo 77 vienetų iki saugių 68...70 vienetų, užtikrinant stabilią gyvūnų gerovę

Išvados

Remiantis atlikto mikroklimato parametrų stebėjimo ir analizės 25 gardų arklidėje rezultatais, galima daryti šias išvadas:

1. Kritinė drėgmės režimo būklė žiemą: nustatyta, kad šaltuoju laikotarpiu (gruodžio–vasario mėn.) šachtinė vėdinimo sistema neužtikrina pakankamo drėgmės pašalinimo. Tai sukuria didelę kondensacijos ir kvėpavimo takų ligų išsivystymo riziką arkliams dėl organinių dulkių ir patogenų kaupimosi.

2. Šilumos stresas vasaros laikotarpiu: birželio–rugpjūčio mėn. užfiksuotas mikroklimato rodiklių išėjimas už termoneutralios zonos ribų. Esant pikinėms temperatūroms iki +27,1 °C ir drėgnumui viršijant 70 %, THI indeksas siekė 75 vienetų, o tai atitinka sunkų šilumos stresą. Tai kritiškai apriboja arklių gebėjimą natūraliai atiduoti šilumą garuojant.

3. Adiabatinio aušinimo būtinybė: vasaros šiluminei apkrovai kompensuoti pagrįstas smulkiadispersinio vandens purškimo (rūko) sistemų, veikiančių aukštu slėgiu, diegimas. Toks sprendimas leidžia sumažinti oro temperatūrą absorbuojant latentinę garavimo šilumą, nesukeliant kraiko sušlapimo.

4. Kombinuotų sistemų efektyvumas: racionaliausias inžinerinis sprendimas tiriamajam objektui yra ašinių ventiliatorių su integruotais žiediniais purkštukais naudojimas. Tai užtikrina reikiamą oro srauto greitį greitam perteklinės drėgmės, kurią prideda aušinimo sistema, pašalinimui ir apsaugo nuo „šiltnamio efekto“ atsiradimo.

5. Automatizavimas pagal THI rodiklius: Remiantis analogiškų sistemų diegimo gyvulininkystėje patirties analize, rekomenduojama automatizuoti arklidės mikroklimato valdymą pagal integralinį THI rodiklį. Tai leis ne tik palaikyti optimalią arklių gerovę, bet ir optimizuoti išteklių sąnaudas.

Literatūra

1. Bleizgys R. 2022. *Pieno ūkių tvarumo didinimas*. Mano ūkis. Vol. 4, P. 56-58.
2. Bleizgys, R., Naujokienė, V., & Čėsna, J. (2022). Humidification–cooling system in semi-insulated box-type cowsheds prevent the loss of milk productivity due to thermal stress. *Agronomy*, 12(5), Article 1131. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051131>.

3. Brownlow, M., & Mizzi, J. X. (2023). An overview of exertional heat illness in thoroughbred racehorses: Pathophysiology, diagnosis, and treatment rationale. *Animals*, 13(4), Article 610. <https://doi.org/10.3390/ani13040610>
4. Kang, H., Zsoldos, R. R., Sole-Guitart, A., et al. (2023). Heat stress in horses: A literature review. *International Journal of Biometeorology*, 67(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02380-6>
5. Mańkowska, A., & Witkowska, D. (2024). The most common environmental risk factors for equine asthma—A narrative review. *Animals*, 14(14), Article 2062. <https://doi.org/10.3390/ani14142062>
6. Ojima, Y., Torii, S., Maeda, Y., & Matsuura, A. (2022). Effect of cooling blanket on the heat stress of horses in hot and humid environments. *Animals*, 12(19), Article 2505. <https://doi.org/10.3390/ani12192505>
7. Obando Vega, F. A., Montoya Ríos, A. P., Osorio Saraz, J. A., et al. (2022). CFD study of a tunnel-ventilated compost-bedded pack barn integrating an evaporative pad cooling system. *Animals*, 12(14), Article 1776. <https://doi.org/10.3390/ani12141776>
8. Poochipakorn, C., Sanigavatee, K., Leelehapongsathon, K., Vongpralub, T., Vongpralub, T., & Pinyopummin, A. (2025). Stable microclimates and autonomic modulation in horses housed in different stable architectures during monsoon in a tropical environment. *Journal of Equine Veterinary Science*, 154, Article 105685. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2025.105685>

MICROCLIMATE RESEARCH IN A STABLE

Abstract

This article analyzes the dynamics of stable microclimate parameters (temperature and relative humidity) during the winter and summer periods and their impact on horse welfare. The aim of the study is to evaluate the existing microclimate based on the Temperature-Humidity Index (THI) and to propose engineering solutions for its optimization. The study was conducted in an insulated stable with 25 stalls, using "Termioplus" data loggers. The results showed that during the cold season, the existing ducted ventilation system does not ensure sufficient moisture removal, which increases the risk of respiratory diseases. Severe heat stress was recorded during the summer when the temperature inside the stable exceeded the recommended norms. In order to prevent horse overheating and optimize resource consumption, it is proposed to install an automated adiabatic cooling system (axial fans with misting nozzles) controlled according to THI indicators. Based on analogous studies, such a solution would not only ensure stable animal welfare by maintaining a safe THI level but also reduce electricity and water consumption.

Keywords: Stable, microclimate, heat stress, THI index, adiabatic cooling, ventilation, animal welfare.