

PALKOVICS ATTILA – ANTAL TAMÁS – KRAJNYIK KÁROLY

PETKUS GYÁRTMÁNYÚ SZEMESTERMÉNY-SZÁRÍTÓ ENERGETIKAI VIZSGÁLATA ÉS A HŐVESZTESÉG MEGHATÁROZÁSA

ENERGY INVESTIGATION OF PETKUS TYPE GRAIN DRYER AND DETERMINATION OF HEAT LOSS

ÖSSZEFOGLALÓ

A szemestermény-szárítás célja, hogy vízelvonás által megteremtse a termény optimális tárolási feltételeit a beltartalmi értékek megőrzése mellett. Erre a célra használja a mezőgazdaság a szemestermény-szárító berendezéseket. A terményszárítás során figyelemmel kell lenni azonban arra, hogy a rendelkezésre álló – jellemzően fosszilis, manapság leginkább földgáz-bázisú – energiahordozókat a lehető legjobb hőtechnikai hatásfokkal használjuk fel, hiszen az indokolatlan túlfogyasztás több veszteséget is okozhat. Két igen alapvető hőveszteséggel azonban minden esetben számolhatunk a szárítás során. Az egyik a szárítandó anyag felmelegítésére használt hőmennyiség, míg a másik a szárítóberendezés felületi hővesztesége.

A felületi hőveszteség becslése több szakirodalomban is megjelenik. Mértékénél leginkább az a jellemző, hogy átlagosan 2-4%-ra kalkulálják az elérhető hőigénycsökkenést, ami a hőszigetelések által csökkenthető. Szintén megjelenik ezen becslések között olyan állítás, amely a felületi hőveszteséget jellemzően hősugárzás által leadott hőmennyiségként határozza meg.

A szárító felületi hőveszteségét a szárításra felhasznált földgáz elégetése során kapott hőtartalom és a Mollier-féle h-x diagram alapján számított fajlagos hőfelhasználás különbségéből határoztuk meg. Emellett a jelen tudományos műben a termográfia módszertanával becsültük meg a sugárzás által leadott hőveszteséget.

Kulcsszavak: Petkus, Mollier-féle h-x diagram, fajlagos hőfelhasználás, hőveszteség, termográfia

ABSTRACT

The aim of drying grain is to create optimal storage conditions for the crop by removing water, while preserving its nutritional value. This is the purpose of the grain drying equipment used in agriculture. In crop drying, however, care must be taken to ensure that the available energy sources - typically fossil, nowadays mainly natural gas-based - are used with the best possible thermal efficiency, since unjustified overconsumption can lead to a number of losses. However, two basic heat losses can always be expected during drying. One is the amount of heat used to heat the material to be dried, and the other is the surface heat loss of the drying equipment.

Estimates of surface heat loss are given in several literatures. The most common estimate of its magnitude is an average of 2 to 4% of the achievable heat loss, which can be reduced by thermal insulation. Also included in these estimates is a statement that defines the surface heat loss typically as the amount of heat dissipated by thermal radiation.

The surface heat loss of the dryer is estimated from the difference between the natural gas

consumption for drying and the specific heat consumption calculated from the Mollier h-x diagram. In addition, in the present scientific work, an attempt is made to estimate the amount of heat losses by radiation using thermographic methodology.

Keywords: Petkus, Mollier h-x diagram, specific heat consumption, heat loss, thermography

1. Bevezetés

A terményszárító berendezések több típusban, különböző kialakítással készülnek, de a szárítási folyamat fizikai alapelvei megegyeznek. A szemesterményszárítás során a betakarított terményből a vizet felmelegített levegő segítségével vonják el. A levegő vízfeltevő képessége közel egyenes arányban nő a hőmérsékletének emelkedésével. A léghevítés másik hatása, hogy a gabonaszem felmelegedésével szemben a víz mozgási – diffúziós – sebessége a maghőmérséklettel exponenciálisan nő. Amikor a vízpárolgathatáshoz szükséges energiát szárítóközeg segítségével közöljük a terménnyel, konvekciós szárításról beszélünk (Poós–Örvös, 2012).

A levegő felmelegítése hő bevitelével – jellemzően gázégő által szolgáltatva – valósul meg. Azonban, mint minden hőtechnikai folyamat, a szárítás is veszteségekkel jár, amelyek a hatásfok csökkenésben is megnyilvánulnak. Az egyik ilyen hőveszteség a szárítóberendezések felületi hővesztesége. A felmelegített szárítóközeg a berendezés meleg oldalán – tehát a léghevítési oldalon – a hőmennyiség egy részét átadja a szemesterményszárító burkolatának, ami veszteségként távozik a környezetbe. A fentiekből valószínűsíthető, hogy megtakarítás érhető el csupán azáltal, hogy eme felületi hőveszteséget szigetelések által redukáljuk (Samson et al., 2021). A kérdés itt csupán a veszteség mértéke, valamint gazdasági tervezési szempontok szerint az esetleges beruházás megtérülésének hossza. Ez utóbbi természetesen csak úgy mutatható ki, ha maga a veszteség mérhető és számszerűsíthető.

Beke (1997) megállapította, hogy a szárítófelületen a környezetnek átadott hőmennyiség hőszigeteléssel mérsékelhető. A szemesterményszárítóknál a meleglevegő-csatornák hőszigetelése átlagosan 2-4% hőigénycsökkenést eredményez. Jokiniemi et al. (2011) számítással meghatározták, hogy az adott szárító meleglevegő-csatornájában 4,1%-os a felületi hőveszteség.

A szakirodalmak elemzése során látható, hogy nagyon kevés helyen definiált a felületi hőveszteség mértéke, ezért fellelhető olyan metodika, amely a hőveszteség meghatározását a hősugárzás általi hőleadásban adja meg (Barótfi, 1993). Más tanulmányban a hőátadás mértékének számítása hasonlósági egyenletek bevezetésével valósul meg (Jokiniemi–Ahokas, 2014).

Ebben a dolgozatban bemutatjuk, hogy miként számítható a földgázfogyasztás és a szárítóközeg által közölt hőmennyiség alapján a felületi

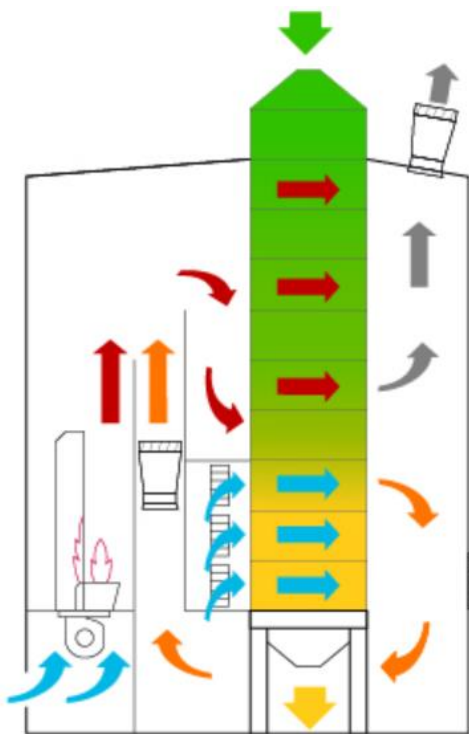
hővesztesség, és hogyan mérhető a termográfia módszerével a hőszugárzás általi hővesztesség.

2. Anyag és módszertan

A jelen tanulmányban Petkus típusú gabonaszárító hőtechnikai ellenőrzése mellett vizsgáltuk, hogy milyen felületi hővesztések vannak jelen a szárítóberendezés esetében. Ezen veszteségek felmérésére infrakamerát használtunk, ahol a cél a mérőeszköz diagnosztikai használata mellett a felület hőmérsékletének mérése volt. Ehhez a specifikus vizsgálathoz FLUKE Ti25 hőkamerát, míg a hőtechnikai mérésekhez Testoterm 4510 típusú készüléket használtunk. A hőkamera által készített hőképeket a SmartView Classic szoftverben diagnosztikai céllal elemeztük.

2.1. A vizsgált szemestermény-szárító bemutatása

A Petkus 2500-14 DU/AB szárító 15t/h teljesítményű berendezés acéllemez-ekből és acélprofilokból épült (1. ábra).



1. ábra: Petkus 2500-14 DU/AB működésének elvi ábrája

Forrás: Internet 1

A belső és külső acéllemez fegyverzet között foglal helyet a közetgyapot szigetelés. A berendezés hőellátását egy Tecflam VD 180 GMB gázégő biztosítja, maximális hőterhelése 2450 kW. A levegőmennyiség szabályozásáról két darab Howden axiál ventilátor gondoskodik, 63 700 m³/h maximális térfogatáram összteljesítménnyel. A hővisszanyerést egy szintén Howden márkájú, 27 300 m³/h maximális térfogatáramú axiál ventilátor biztosítja. A ventilátorok légmennyiség-szabályozása a terelőlapátok manuális szögállításával lehetséges. A szárítóberendezés 14 szekcióból épül fel.

2.2. Fluke Ti25 ipari hőkamera

A sugárzó felületek méréséhez egy Fluke gyártmányú, Ti25 típusú, 2008-as gyártási évjáratú ipari hőkamerát használtunk. A Fluke Ti25 mérőeszköz 640x480 mm méretű LCD képernyőjén megjelenő hőkép és fénykép egy SD-kártyára menthető le. Az eszköz csomagja a számítógépes mentéshez szintén tartalmaz egy kártyaolvasót, amelyet USB-kábel segítségével csatlakoztatva a számítógéphez menthetővé válnak a vizsgálat során készített felvételek. A kamera képes egyetlen képként megjeleníteni a hőképet és a fényképet, az úgynevezett „kép a képben” PIP-technológia segítségével. A műszer méréstartománya -20 °C-on indul, és az adott Ti25 típus esetében +350 °C-ig terjed.

A kamera egyik különlegessége az IR-Fusion technológia, amely a látható kép és a hőkép keverését jelenti. A kamera három különböző arányú keverést képes szimulálni, amely a PIP – kép a képben – funkcióval is vegyíthető. A kezelőfelület menüjében beállítható az IR-Fusion és a PIP aránya. Az eszköz egy Nickel Metal-Hydride akkumulátorról üzemel, melynek töltője szintén a mérőeszköz hordtáskájának részét képezi.

2.3. Testoterm 4510-es mérőkészülék

A Testoterm mérőkészülék olyan multifunkciós mérőeszköz, amely képes a légsebesség, a hőmérséklet és a relatív páratartalom mérésére. A Testo műszer-gyártó cég alapvetően épületgépészeti, légtechnikai és szellőzéstechnikai mérések elvégzésére fejlesztette ki a berendezést.

A hőmérsékletmérő antenna

Ez az antenna tulajdonképpen egy NiCr-NiAl levegőszonda. Ezen szondán kívül csatlakoztatható még a Testoterm mérőeszközhöz felület-, merülő vagy áthatoló szonda. Fontos, hogy DIN-szabvány szerinti 8 tűs csatlakozót képes fogadni a mérőeszköz. A mérési tartomány -200 °C -tól +600 °C között $\pm 0,3$ °C pontossággal írható le.

Relatív páratartalom-mérő

A Testoterm kapacitív páratartalom-érzékelőket használ a levegő relatív páratartalmának mérésére. A páratartalom-érzékelő NTC hőmérsékletmérővel van kombinálva. A szonda feje az érzékeny érzékelő és NTC mérőfej okán egy védőkupakkal van ellátva. A páratartalom-érzékelő mérési tartománya: 0-100% ($\pm 2\%$).

2.4. Air Humid Handling szoftver

A szoftver a Zeller Consulting Suisse saját fejlesztésű terméke, amely hőcserélőkkel, légkondicionálással és termodinamikával foglalkozó szakemberek számára készült. Gyakorlatilag a szoftver a Mollier-féle h-x diagram digitális verzióját tartalmazza (Internet 2).

3. Eredmények

A vizsgálat során a Testoterm 4510 típusú műszer segítségével határoztuk meg a légtechnikai paramétereket, vagyis a környezeti feltételeket (hőmérséklet, páratartalom), a ventilátorok által továbbított közeg hőmérsékletét és relatív páratartalmát. A nyers és a szárított kukorica nedvességtartalmát (nedves bázisban) a gépkezelőktől kaptuk meg (1. táblázat).

A szárítólevegő hőmérsékletét a Petkus PT100-as hőmérője biztosította, a gázmérő adatait a szolgáltatói gázfogadó digitális mérőórájáról olvastuk le.

A ventilátorok keverései aránya itt a légszállítási teljesítményből 70-30%-ra adódott, melyet a Mollier-féle h-x diagram készítésénél kellett figyelembe venni a 3.2. fejezetben található számításoknál.

Mérés ideje: 2023.10.25. Ideje: 15:05-17:05 (2h)				
Sorszám	Mérési pont	Hőmérséklet °C	Relatív páratartalom φ (%)	W %
1	Környezeti hőmérséklet (égőtérbe beszívott)	17,2	79,7	
2	Szárítózónába belépő	88	5 (becsült)	
3	Szárítózónából kilépő	39,2	60,2	
4	Visszaforgatott (hűtőzónából)	43,2	8,1	
5	Szárítandó kukorica nedvességtartalma			18,9
6	Szárított kukorica nedvességtartalma			14,1

Forrás: saját készítésű táblázat

1. táblázat: Petkus szárítón mért szárítóközeg-paraméterek

3.1. A Petkus szárító gázfogyasztás-alapú fajlagos hőfelhasználásának meghatározása

A szárított anyag nedvességtartalmának és tömegáramának ismeretében a szárítókamra vízpárológató teljesítménye (1):

$$G_v = G_2 \times \frac{W_1 - W_2}{100 - W_1} = 11900 \times \frac{18,9 - 14,1}{100 - 18,9} = 704,316 \text{ kg/h}, \quad (1)$$

ahol:

G_v – a szárító vízpárológató képesség (kg/h),

G_2 – a szárított anyag mennyisége óránként (11 900 kg/h – a gépkezelőtől kapott adat),

W_1 – a nedves anyag víztartalma (%),

W_2 – a szárított anyag víztartalma (%).

Az óránként a szárításra felhasznált hőenergia (Q_k) (2):

$$Q_k = V_g \times H_g = 92,45 \times 34 = 3143,3 \text{ MJ/h}, \quad (2)$$

ahol:

Q_k : óránként felhasznált hőenergia (MJ/h),

V_g : gázfogyasztás (92,45 Nm³/h – a mérőóráról leolvasott adat),

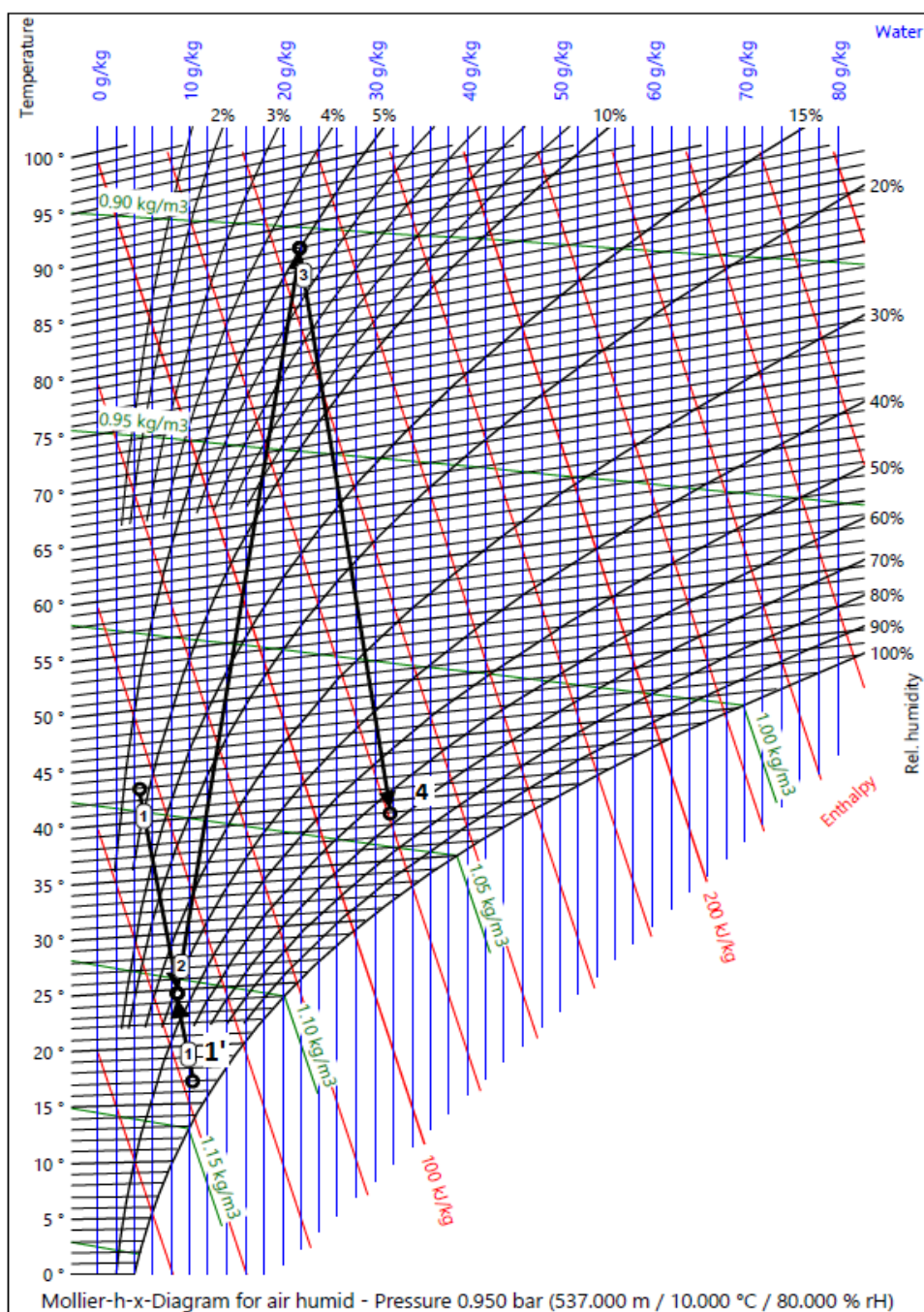
H_g : földgáz fűtőértéke (34 MJ/m³ – gázszolgáltatótól kapott adat).

Innen a Petkus szárító fajlagos hőfelhasználása (q_f) a gázfogyasztás alapján számolva (3):

$$q_f = \frac{Q_k}{G_v} = \frac{3143,3}{704,3} = 4,463 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}_{\text{viz}}}. \quad (3)$$

3.2. A Petkus fajlagos hőfelhasználása Mollier-féle h-x diagram adatai alapján

A 2. ábrán látható a ventilátorok által közölt hőmennyiség Mollier-féle h-x diagramban ábrázolva, ahol a ventilátorok keverési aránya 70-30%-ban van megadva, a keverési arány (2. ábrán alul: 1-1') a ventilátorok ismert légszállításai szerint.



2. ábra: Ventilátorok által szállított közeg állapotváltozása Mollier-féle h-x diagram alapján

Forrás: saját készítésű diagram

Az 1 kg száraz levegővel elvitt nedvesség meghatározható az alábbi összefüggéssel (4):

$$\Delta x = (x_4 - x_2), \quad (4)$$

ahol:

Δx : 1 kg száraz levegővel elvihető nedvesség mennyisége (kg/kg),

x_4 ; x_2 : a Mollier-féle h-x diagramból leolvasott értékek.

A 2. ábra diagramjából kapott abszolút nedvességtartalom értékei:

$$x_4 = 31,624 \frac{g}{kg} \quad x_2 = 8,572 \frac{g}{kg}.$$

Innen Δx (5):

$$\Delta x = x_4 - x_2 = 31,624 - 8,572 = 23,052 \frac{g}{kg} = 0,023052 \frac{kg}{kg} \quad (5)$$

A következőkben egyszerűsített számítással adjuk meg a fajlagos hőfelhasználás (q_f) értékét. A fajlagos hőigény (q_f) egyszerűsített alakú képlete tehát (6):

$$q_f = \frac{h_3 - h_2}{x_4 - x_2} \left(\frac{MJ}{kg_{v\acute{e}z}} \right) \quad (6)$$

Az entalpiaértékek különbsége fogja megadni az 1 kg nedves levegővel közölt hőmennyiséget (7).

Ezeket az értékeket is a 2. ábráról kapjuk meg:

$$h_3 = 147,162 \frac{kJ}{kg}, h_2 = 46,733 \frac{kJ}{kg}$$

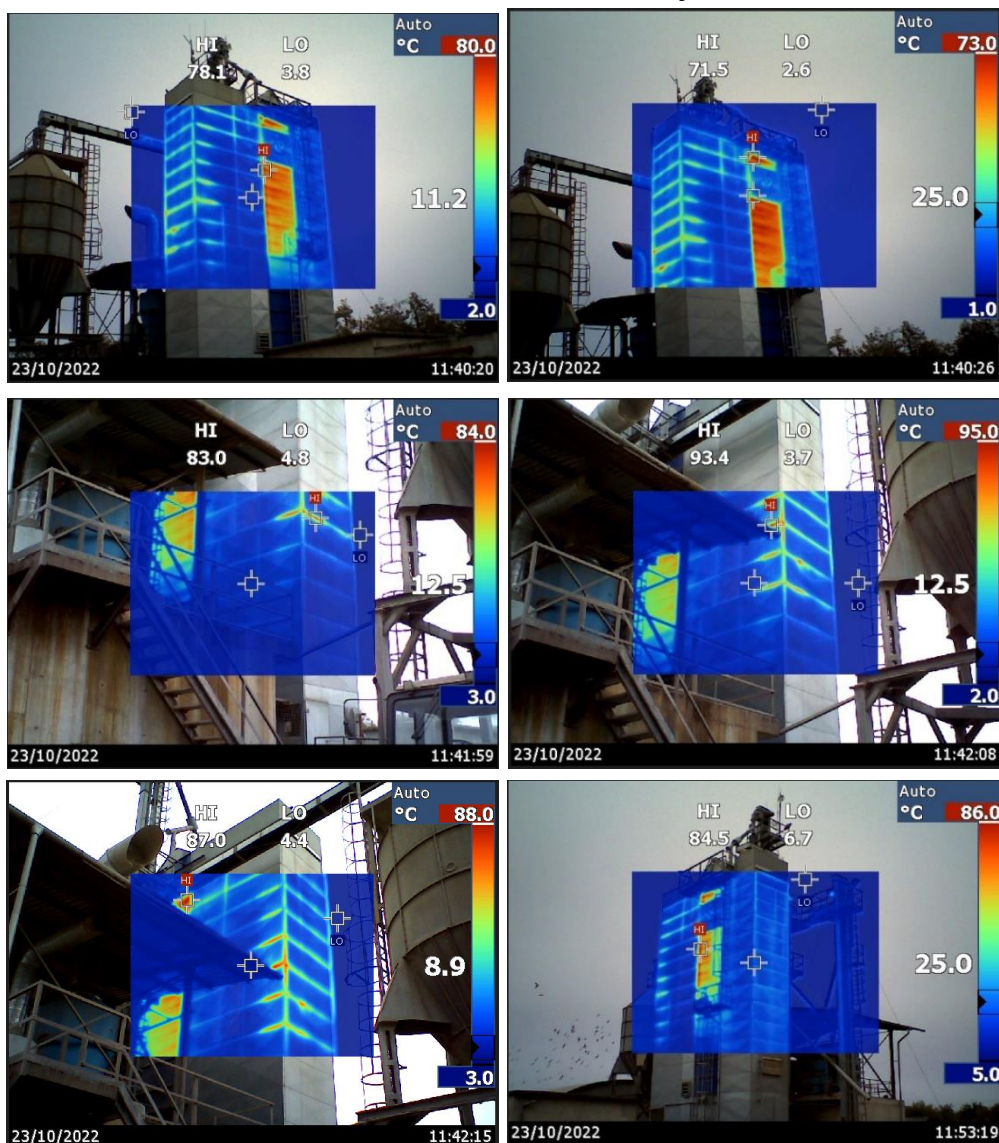
$$q_k = h_3 - h_2 = 147,162 - 46,733 = 100,43 \frac{kJ}{kg} \quad (7)$$

A fajlagos hőfelhasználás (q_f) a Mollier-féle h-x diagram adatai alapján tehát (8):

$$q_f = \frac{h_3 - h_2}{x_4 - x_2} = \frac{100,43}{0,023052} = 4356,67 \frac{kJ}{kg_{v\acute{e}z}} = 4,356 \frac{MJ}{kg_{v\acute{e}z}} \quad (8)$$

3.3. A Petkus szárító termográfiai diagnosztikai vizsgálata

A Petkus szemestermény-szárító termográfiai vizsgálata 2022-ben történt meg. Az elkészült hőkamerás felvételeket a 3. ábrán láthatjuk.



3. ábra: A Petkus szemestermény-szárítóról hőkamerával készült képek

Forrás: saját készítésű felvétel

Ezeknek a képeknek az elkészítésénél a kamera kép a képen (PIP) technológiáját alkalmaztuk. Nem törekedtünk viszont a korrekt emissziós tényező

beállítására, sokkal inkább a nagyobb hőleadó felületeket kerestük. Ennek oka kettős volt: egyrészt a mért felület hőmérséklete és a környezeti hőmérséklet között – a szigetelés okán – elhanyagolható hőmérséklet-különbség adódott, másrészt pedig a felület reflexiója, a felület homogén fényessége okán magas volt.

Jól láthatóak a felvételen viszont a résveszteségek (piros színű foltok a szárítótesten) a meleg oldalon a gázégő vonalában és fölötté. A felvételek jobb részén található hőmérsékletskálán megfigyelhető, hogy a szárítóberendezés külső burkolata a résveszteségek helyén 73–95 °C közötti vonalszerű és felületi hőveszteséget mutat. A felvételeken látható a csörgedezett akna – vertikálisan látható vöröses piros sáv a berendezés közepén – magas hőleadása a felmelegített és már nedvességét leadó terménnyel van konduktív hőátadási kapcsolatban, s mint ilyen nem része a meleglevegő-csatornának.

4. Következtetések és javaslatok

A Petkus 2500-14 DU/AB szárítóberendezés esetében a fajlagos hőfelhasználási érték a földgázalapú számításnál $4,463 \frac{MJ}{kg_{v\acute{e}z}}$ -re adódott, illetve a Mollier-féle h-x diagram szerint a kapott fajlagos hőfelhasználás pedig $4,356 \frac{MJ}{kg_{v\acute{e}z}}$ volt.

A két érték 2,45%-os különbsége arra utal, hogy van hőveszteség a szárítás során. A számítás útján meghatározott gabonaszárító felületi hővesztesége (2,45%) a szakirodalom által becsült/számított felületi hőveszteség intervallumába (2-4 és 4,1%) esik. Ezért azt feltételezzük, hogy a földgázalapú hőfelhasználás, vagyis a szárítási technológiai folyamat összes üzemi hőigénye és a szárítóba bevitt levegő felmelegítésére fordított hőmennyiség különbsége adja a felületi vagy sugárzással leadott hőmennyiséget.

Ezenkívül nem került el a figyelmünket, hogy a számított fajlagos hőfelhasználási érték meglepően magasnak adódott. Ez a tény több okra vezethető vissza. Egyrészt a gépkezelők jelezték, hogy a szárító feltöltésére használt elevátor serlegeiből már több hiányzik. Ez hatással lehet nemcsak a szárító feltöltésére, hanem a berendezés energetikai hatékonyságára is. Másrészt a szárító teljesítményének kihasználatlansága párosul a relatíve magas gázfogyasztással.

A Petkus típusú szárító felületének lemezelése és annak reflexiója, valamint a hőszigetelés együttes hatása azt eredményezte, hogy a hőkamera érzékenységi toleranciáján kívül esett a berendezés. Ennek eredményeképpen pedig nagyobb hőveszteségek nyomai a meleg oldalon nem mutatkoztak a kameraképeken, csupán a résveszteségek.

A termográfiai vizsgálat során, ahogy az a 3. ábrán látható, a meleg oldalon jelentős résveszteségek azonosíthatók, amelyek arra utalnak, hogy a szárító

hőszigetelése részben már kielégett. Észrevehető az is, hogy a gázégőhöz közelebb ezek a résveszteségek nagyobbak, hiszen itt a hőszigetelés jobban ki van téve a láng sugárzó hőjének is.

A fenti eredmények alapján javasoljuk a vizsgált szárítóberendezés tulajdonosának, hogy szezon előtt ellenőriztesse a közetgyapot szigetelés állapotát, és végezze el az elevátor karbantartását.

FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- Beke J. (1997): *Terményszárítás*. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. Budapest. 201–202.
- Barótfi I. (1993): *Energiafelhasználói Kézikönyv*. Környezet-technikai Szolgáltató Kft. Budapest. 491–492.
- Jokiniemi T.–Kautto K.–Kokin E.–Ahokas J. (2011): Energy efficiency measurements in grain drying. *Agronomy Research Biosystem Engineering* 1: 69–75.
- Jokiniemi H. T.–Ahokas J. M. (2014): *Effect of heat insulation on the energy consumption of recirculating mixed-flow batch grain dryer*. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 16/3: 205–213.
- Poós T.–Örvös M. (2012): Heat and mass transfer in agitated, co-, or countercurrent conductive–convective heated drum dryer. *Drying Technology* 30/13: 1457–1468. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.689402>
- Samson F. O.–Akpoka E.–Akhiero E.–Akhiero D. (2021): *Design of a Portable Grain Dryer*. *Journal of Science and Technology Research* 3/3: 48–57.

INTERNETES FORRÁSOK

- Internet 1: <https://pdf.agriexpo.online/pdf/petkus-technologie-gmbh/continuous-flow-dryer-dd/169966-1921.html> (letöltés ideje: 2024. 01. 26.)
- Internet 2: <https://www.zcs.ch/en/downloads.html> (letöltés ideje: 2024. 01. 25.)

SZERZŐI ADATOK

Palkovics Attila fejlesztési vezető
Cargill Takarmány Zrt.
palkovicsattila2@gmail.com

Dr. habil. Antal Tamás PhD, egyetemi docens
Nyíregyházi Egyetem
Műszaki és Agrártudományi Intézet
antal.tamas@nye.hu

Krajnyik Károly mérnök-tanár
Nyíregyházi Egyetem
Műszaki és Agrártudományi Intézet
krajnyik.károly@nye.hu