

GABONASZÁRÍTÓK KALORIKUS VIZSGÁLATA ÉS A HŐVESZTESÉGEK MEGHATÁROZÁSA

ANTAL Tamás¹ – KOVÁCS Zoltán¹

¹Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyháza, Kótaji u. 9-11., antal.tamas@nyc.hu
<https://doi.org/10.71066/FTTMK.1.03>

Bevezetés

A gabonaszárítás rendkívül magas hőenergia-felhasználása igazi kihívást jelent a nemzetgazdaság számára. A szárítás költsége döntő a gabonatermelés eredményessége szempontjából, melynek mértéke – az alkalmazott szárítástechnológia figyelembevételével – elérheti az összes termelési költség 25-40%-át. Mindezeket figyelembe véve olyan mezőgazdasági szárító fejlesztésére van szükség, mely relatíve alacsony villamos- és hőenergia-felvétellel rendelkezik, továbbá a porkibocsátás minimalizált és a szárított termék kiváló minőségű. Az energia- és költségtakarékos üzemmódról akkor beszélhetünk, ha hővisszanyerési megoldást alkalmazunk (Kacz és Kocsis, 2013). A korszerűnek tekinthető szárítóknál a hűtő- és a szárító zóna alsó szakaszából kilépő alacsony relatív nedvességtartalmú levegő együttes visszavezetésére kerül sor a tüzelőberendezéshez, és melegítés után a szárítózónába juttatható, vagy a szárítóközeghez keverhető (Német, 2014). Ezzel a megoldással akár 25-35%-os energia-megtakarítás érhető el (Herdovics és Csermely, 2004). Az utóbbi évtizedben több olyan 30-40 éve épült hagyományos szemestermény-szárító felújítása történt meg, amelyek ígéretes fejlesztésnek bizonyultak (Balla, 2011).

Ebben a tudományos munkában a következő célokat tűztük ki: meghatározni egy korszerűsítésen átesett keresztáramlású gabonaszárító fajlagos hőenergia-fogyasztását a gázfogyasztást alapul véve, összehasonlítani ezt az értéket a Mollier-féle h-x diagram felhasználásával meghatározott fajlagos hőenergia-fogyasztással, illetve megbecsülni a szárító meleg-oldali felületi hőveszteségét.

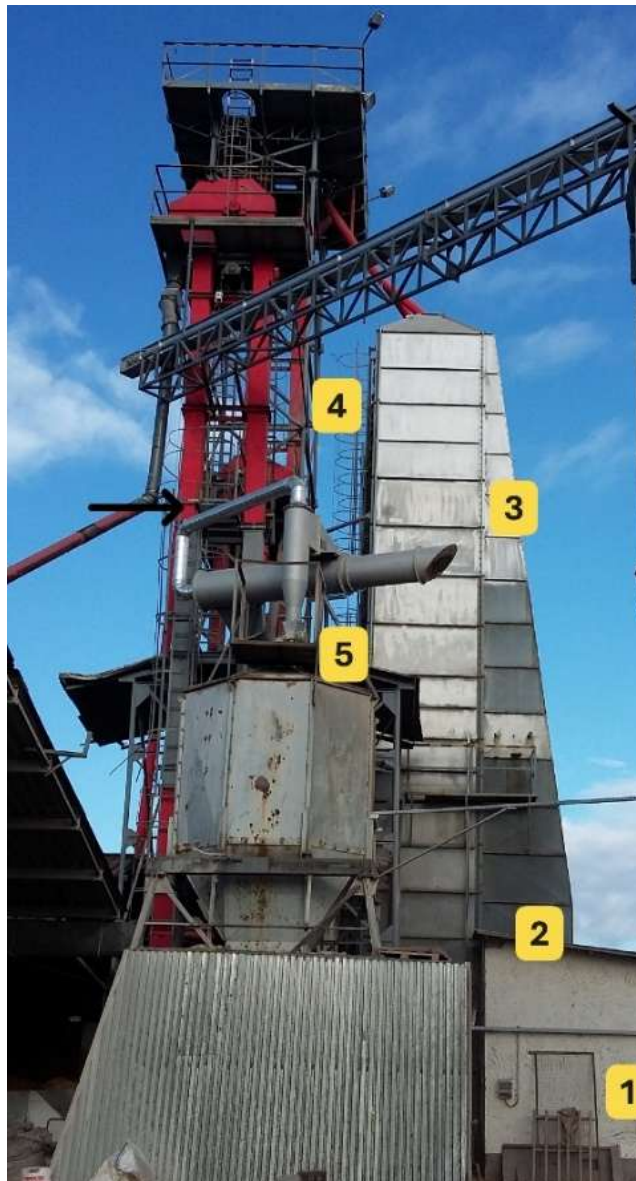
Anyag és módszer

A szárítási elvét tekintve a Bábolna B-1-15 típusú mezőgazdasági szárító egyfokozatú vízelvonást valósít meg. Mivel a szárítóban a nedves gabona haladási iránya felülről lefelé történik, ezért ez gravitációs csörgedeztető rendszerű anyagmozgatásnak felel meg (1. ábra).

Az átalakított Bábolna B-1-15 típusú szárítóberendezés esetében a hideglevegő ventilátort kiiktatták. A meleglevegő ventilátort pedig úgy készítették el, hogy a hűtőzónából kijövő, a termény által felmelegített és alacsony relatív nedvességtartalmú levegőt az égőtérbe szívja és összekeveri a tüzelőberendezés által felmelegített környezeti levegővel (ún. hővisszanyerés), majd ezt a kevert szárítóközeget nyomja fel a szárító felső zónájába. Ezáltal a szárító szakasz nyomottá, a hűtő szakasz pedig szívottá vált. Ezen kivétel hozzájárult ahhoz, hogy 30 kWh-val csökkent a szárító villamos energia-fogyasztása, illetve a hűtőzónából kijövő, vízelvonásra alkalmas szárítóközeg nem a környezetet melegíti.

A hőképzéshez szükséges és a szárítóban uralkodó hőmérsékletet, relatív nedvességtartalmat öt különböző ponton mértük a szárítótesten a Testoterm mérőkészülék segítségével. Az alábbi helyeken (1. ábra):

1. Égőtérbe beszívott levegő (temperált, zárt helyiség).
2. Hűtőzónából visszakevert levegő (2*35 db csatorna mérve).
3. Felső szárítózónába belépő levegő (az égőből).
4. Felső szárítózónából kilépő levegő (a felső három sor mérve, 2*15 db csatorna).
5. Alsó szárítózónából kilépő levegő (8. sor felett mérve, 2*25 db csatorna).



1. ábra. Mintavételi pontok elhelyezkedése a korszerűsített B-1-15 típusú szárítón

A Testoterm 4510 típusú mérőkészülék egy multifunkciós mérőeszköz, mely képes légsebesség, hőmérséklet és relatív nedvességtartalom mérésére.

Ez a hőmérséklet-mérő 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 $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ között, $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ pontossággal írható le.

A Testoterm kapacitív nedvességtartalom-érzékelőket használ a levegő relatív nedvességtartalmának 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: $0\text{-}100\%$ ($\pm 2\%$).

Az anemométer mérőszonda három átmérővel készült: Ø 12mm, Ø 16 mm, Ø 25 mm. A lapátos kialakítású légsebességmérő szonda mérési tartománya 0,25-60 m/s közötti.

Air Humid Handling szoftver a Zeller Consulting Suisse saját fejlesztésű terméke, amely hőcserélőkkel, légkondicionálással és termodinamikával foglalkozó szakemberek számára készült. Gyakorlatilag a szoftver a Mollier h-x diagram digitális verzióját tartalmazza (Internet 1).

Eredmények és értékelésük

A vizsgálat során a Testoterm 4510 típusú műszer segítségével határoztuk meg a szárítóközeg paramétereit (hőmérséklet és relatív nedvességtartalom). A nyers és a szárított kukorica nedvességtartalmát (nedves bázisban) a gépkezelőtől kaptuk meg (1. táblázat). A földgázfogyasztást a szolgáltatói gázfogadó digitális mérőórájáról olvastuk le.

A mérés időtartama: 2 h (10:00-12:00). Anyag: kukorica (*Zea mays* L.) A szárított anyag mennyisége óránként: $G_2=11,3$ t/h (A gépkezelőtől kapott adatok).

A korszerűsített Bábolna 15 t/h teljesítményű szárítónál alkalmazott ventilátor anemométerrel mért légszállítása 50.000 m³/h, a léghevítőnél. Ez az érték a temperált helyiségből beszívott légmennyiséget jelenti. A ventilátor keverési aránya - a kültérből és a hűtőből szívott - a légszállítási teljesítményből 70%:30%-ra adódott, melyet a Mollier h-x diagram készítésénél kellett figyelembe venni és a számításoknál is.

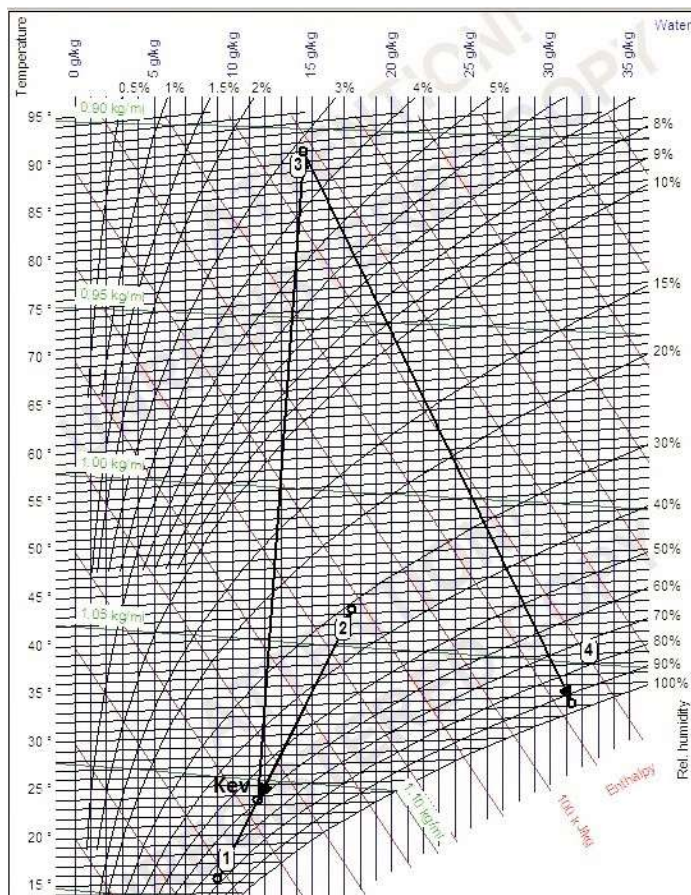
1. táblázat. A mérési pontokon detektált levegő/száritóközeg hőmérséklet, relatív nedvességtartalom, és az anyag nedvességtartalmi adatai¹

Mérési pontok	Hőmérséklet (T) [°C]	Relatív nedvességtartalom (φ) [%]	A kukorica nedvességtartalom (W) [%]
1. Égőtérbe beszívott levegő (temperált helyiség)	15,4±1,2	77,6±2,7	-
2. Hűtőzónából visszakevert	42,4±1,8	31,2±1,4	-
3.Felső szárítózónába belépő (égőtérbe kevert)	89±2,2	3,2±0,1	21,2*±0,7
4. Felső szárítózónából kilépő	32,2±1,4	95,3±3,1	-
5. Alsó szárítózónából kilépő	46,2±1,9	63,5±2,4	13,5*±0,5

*A szárító gépkezelőjétől kapott adatok.

± szórás

A 2. ábrán látható az 1. táblázatban közölt szárítóközeg adatainak – a levegő hőmérséklet és relatív nedvességtartalma – ábrázolása Mollier-féle h-x diagramban.



2. ábra. A korszerűsített B1-15 típusú szárítón a mérési adatok alapján megszerkesztett Mollier-féle h-x diagram

Az átalakított Bábolna 1-15 típusú szárító fajlagos hőenergia-felhasználása gázfogyasztás alapján

A szárított kukorica nedvességtartalmának és tömegáramának ismeretében a szárítókamra vízpárologtató teljesítménye (1):

$$G_v = G_2 \times \frac{W_1 - W_2}{100 - W_1} = 11300 \times \frac{21,2 - 13,5}{100 - 2,2} = 1104,187 \text{ kg/h}, \quad (1)$$

ahol:

G_v : a szárító vízpárologtató képesség (kg/h),

G_2 : a szárított anyag mennyisége óránként (11300 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):

$$Q_k = V_g \times H_g = 127,4 \times 34 = 4331,6 \text{ MJ/h}, \quad (2)$$

ahol:

Q_k : óránként felhasznált hőenergia (MJ/h),

V_g : gázfogyasztás (127,4 Nm³/h – a mérőóráról leolvasott adat),

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

Innen a korszerűsített Bábolna B1-15 szárító fajlagos hőfelhasználása (q_f') a gázfogyasztás alapján számolva (3):

$$q_f' = \frac{Q_k}{G_v} = \frac{4331,725}{1104,187} = 3,923 \frac{MJ}{kg_{v\acute{e}z}}. \quad (3)$$

A korszerűsített Bábolna 1-15 típusú szárító hőtechnikai ellenőrző vizsgálata Mollier h-x diagram alapján

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

$$\Delta x = (x_4 - x_{keverék}), \quad (4)$$

ahol:

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

x_4 ; $x_{keverék}$: a Mollier h-x diagramból leolvasott abszolút nedvességtartalom értékek.

A 2. ábra diagramjából kapott abszolút nedvességtartalom értékek:

$$x_4 = 31,421 \frac{g}{kg} \quad x_{kev} = 11,559 \frac{g}{kg}.$$

Innen Δx (5):

$$\Delta x = x_4 - x_{kev} = 31,421 - 11,559 = 19,862 \frac{g}{kg} = 0,019862 \frac{kg}{kg} \quad (5)$$

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

$$q_f'' = \frac{h_3 - h_{keverék}}{x_4 - x_{keverék}} \left(\frac{MJ}{kg_{v\acute{e}z}} \right) \quad (6)$$

Az entalpia (h) értékek különbsége fogja megadni az 1kg nedves levegővel közölt hőmennyiséget (q_k) (7).

Ezeket az értékeket is a 2. ábráról kapjuk meg:

$$h_3 = 128,185 \frac{kJ}{kg}, h_{kev} = 53,056 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_k = h_3 - h_{kev} = 128,185 - 53,056 = 75,129 \frac{kJ}{kg}, \quad (7)$$

ahol:

q_k : 1 kg nedves levegővel közölt hőmennyiség (kJ/kg),

h_3 ; $h_{keverék}$: a Mollier h-x diagramból leolvasott entalpia értékek.

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

$$q_f'' = \frac{h_3 - h_{kev}}{x_4 - x_{kev}} = \frac{75,129}{0,019862} = 3782,549 \frac{kJ}{kg_{v\acute{e}z}} = 3,782 \frac{MJ}{kg_{v\acute{e}z}} \quad (8)$$

Következtetések

Ebben a tudományos munkában egy 1980-as években épült Bábolna 1-15 típusú gabonaszárító korszerűsítése után meghatároztuk a szárítók minősítésére gyakran használt specifikus mutató – fajlagos hőfelhasználás – értékét. A hővisszanyerő rendszerrel kiépített B1-15 szárító 3,923 MJ/kg víz fajlagos hőenergia-fogyasztással jellemezhető, amennyiben gázfogyasztás alapján határozzuk meg. A Mollier-féle h-x diagram segítségével kiszámított fajlagos hőfelhasználás értéke 3,782 MJ/kg víz.

A korszerűsített Bábolna gabonaszárító gázfogyasztás (3,923 MJ/kg víz) és a szárítóközegek kalorikus jellemzői alapján kalkulált fajlagos hőfelhasználás (3,782 MJ/kg víz) közötti különbség 3,72%, ami jól mutatja, hogy van hővesztés a szárítás során. A számítás útján meghatározott gabonaszárító felületi vagy sugárzással leadott hővesztése (3,72%) a szakirodalom által becsült felületi hővesztés intervallum (2-4%) között van (Beke, 1997; Jokiniemi et al., 2011). Ezt a hővesztést így is nevezhetjük Barótfi (1993) nyomán: a szárító és a környezet közötti hőtranszport vesztesége. Az általunk kalkulált felületi hővesztés 1000 üzemórát üzemelő szárítóberendezés esetében – a 2025-ben aktuális földgáz árral (Ft/nm³) számolva – megközelítőleg 500.000-1.000.000 Ft-ra is rúghat egy szezon alatt.

Azt feltételezzük, hogy a földgázfogyasztás alapú 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.

A gabonaszárítás során keletkező hővesztés pontos meghatározására a termográfia módszertana ajánlott, melynek segítségével mérhető a szárító horganyzott acél felületének hőmérséklete, illetve becsülhető a hőszugárzással elvesztett hő, valamint hasonlósági egyenletekkel számítható a konvektív hőátadási tényező, majd ebből a kalkulálható a konvektív hővesztés értéke.

Összefoglalás

A jelenleg üzemelő kb. 35-40 éves szárítók többségét még megéri és fel lehet újítani, mely során a szakemberek elvégzik a hővisszanyerő rendszer, a légszűrő, a szigetelés, a szárítóvezérlő szekrény kiépítését, és a porleválasztó elhelyezésével a rendszer a környezetvédelmi követelményeknek is megfelel. A jelen tanulmányban az 1980-as években épült Bábolna 1-15 típusú keresztirányú légátvezetési, csörgedeztető rendszerű aknás terményszárító felújításának energetikai célú eredményét ismertetjük, mely során a szárítólevegőt újrahasznosítja. Ezt az értéket a szárítóberendezés hőtechnikai ellenőrző vizsgálat elvégzésével igazoltuk. A terményszárító felületi hővesztését a szárításra felhasznált földgázfogyasztás és a Mollier-féle h-x diagram alapján számolt fajlagos hőfelhasználás különbségéből határoztuk meg.

Kulcsszavak:

gabonaszárító, földgázfogyasztás, Mollier h-x diagram, meleg-oldali hővesztés

Irodalom

- Balla, J.: 2011. A szárítófejlesztési program tovább folytatódik az IKR Zrt.-nél. Agrárágazat, 2011, 12 (8), pp. 88-90.
Barótfi I.: 1993. Energia Felhasználói Kézikönyv. Környezet-Technika Szolgáltató Kft., Budapest, pp. 491-492.
Beke J.: 1997. A hőközlés hatásfoka. [In: Beke, J. (szerk.) Terményszárítás]. Agroiinform Kiadó és Nyomda Kft., Budapest, pp. 201-202.
Herdovics, M. - Csermely, J.: (2004). A szemestermény-szárítás helyzete, technológia fejlesztési lehetőségei. Agro Napló, 2004, 9, pp. 86-88.
Jokiniemi T. - Kautto K. - Kokin E., Ahokas J.: 2011. Energy efficiency measurements in grain drying, Agronomy Research Biosystem Engineering, 2011, 1, pp 69-75.
Kacz, K. - Kocsis, S.: 2013. Szárítástechnológia alternatív megoldások a szemestermény-szárítók fűtésében. Agro Napló, 2013, 2, pp. 99-100.
Német, B.: 2014. Terményszárítás, szemestermény-szárítók. Agrárium7, 2014, 4, pp. 33-34.

Internet1: <https://zcs.exprocad.com/en/ahh.html>

CALORIC TESTING OF GRAIN DRYERS AND DETERMINATION OF HEAT LOSS

Tamás Antal¹ – Zoltán Kovács¹

¹University of Nyíregyháza, Institute of Engineering and Agricultural Sciences, H-4400
Nyíregyháza, Sóstói Str. 31/b.
antal.tamas@nye.hu

Summary

Most of the dryers currently in operation, which are around 35-40 years old, are still worthwhile and can be upgraded, with the installation of a heat recovery system, insulation of air ducts, building a dryer control cabinet and the installation of a dust collector to meet environmental requirements. In this study presents the energy efficiency results of the renovation of the Bábolna 1-15 type transverse air-conducted, shaft crop dryer built in the 1980s. This value was verified by performing a thermal verification test of the dryer. The surface heat loss of the crop dryer was determined from the difference between the natural gas consumption for drying and the specific heat consumption calculated from the Mollier h-x diagram.

Keywords:

grain dryer, natural gas consumption, Mollier h-x chart, heat loss on warm side