

A terményszárítás közben fellépő veszteségek elemzése

A technikai fejlődés mai szintjén valamennyi termelőtevékenység – így a szárítás is – bizonyos mértékű energiafelhasználást eredményez. A termelési technológia során befektetett és a végtermékben megjelenő energia az egyik értékmérő az eljárás gazdaságosságának meghatározásánál. Az eredményesség érdekében tehát a termelési folyamatok megvalósításkor alapvető körülmény az ésszerű energiagazdálkodás. Ennek igen fontos területe a rendelkezésre álló energiahordozók felhasználási folyamatának elemzése és értékelése. Az energiaforrásokkal való racionális gazdálkodás fontos összefüggésben van a termelési technológia megvalósításával, továbbá az alkalmazott berendezések műszaki és üzemeltetési színvonalával.

Az energiaráfördítések leszorításának módja a folyamat hatásfokának javítása, illetve a mindenkori legolcsóbb alternatív energiaforrások igénybevétele. A termények szárításának energiaigényét elemezve megállapítható, hogy a motiváló tényezők egy része az energiafelhasználás növelése, mások a csökkenés irányában hatnak.

A termény betakarítás biztonságának igénye, a terméseredmények várható növekedése, a termények beltartalmi értékeinek megőrzése, az energia fokozott felhasználását feltételezi. Az energiafogyasztás mérséklését teszi lehetővé a szárítóberendezések és szárítótechnológiák korszerűsítése, a szárítást nem igénylő tartósítási eljárások részleges bevezetése, a kisebb nedvességtartalommal betakarítható növényfajták termelésbe állítása, a szárítási folyamat automatizálása, az üzemeltetők szakképzettségének és feltételeinek javítása, a technológiai fegyelem betartása stb.

A mai műszaki színvonalon megvalósított szárítás az indokoltnál nagyobb hő- és villamosenergia-felhasználással jár. A szabad nedvesség elpárologtatásához, az anyagban lévő víz kötési energiájának legyőzéséhez, a termény és a szárítóközeg hőmérsékletének emeléséhez, a hővesz-

teségek kompenzálásához tekintélyes mennyiségű energia szükséges. A szárítóberendezések anyag- és levegőmozgató egységeinek működtetése, meghajtása általában villanymotorokkal történik. A felhasznált villamos energia mértéke abszolút értékben nagy, azonban a hőenergia-felhasználáshoz képest nem számottevő.

Az energiafelhasználás méreteke számos tényező függvénye, melyek az alábbiakban lesznek összefoglalva.

Az egyik csoportba sorolhatók azok a tényezők, amelyek a szárítás objektív körülményeit alapvetően meghatározzák. Befolyásolásukra a szárító üzemen viszonylag kevés lehetőség van. Ebbe a csoportba tartoznak a meteorológiai viszonyok, a termény tulajdonságai (agrofizikai tényezők, a termény vízleadási tulajdonsága, beltartalma, és a száradás során lejátszódó biológiai változások), valamint az olyan jellemző, mint a tárolás alatti nedvességtartalom.

A másik csoportba foglalhatók az üzemeltetési és technológiai körülmények által meghatározott jellemzők. Ide sorolhatók mindazok az üzemen belül hozható alternatív döntések, amelyek meghatározzák a teljes termelési tevékenységet a növénytermesztéstől az állattenyésztésen át az értékesítésig. Ezek a döntések határozzák meg, hogy egy adott üzem területén mikor, miből és milyen mennyiségben kell szárítani. E csoportba kell sorolni a termelési tényezőkön túl a betakarítási és előfeldolgozási technológiák jellemzőit, a szárítás technológiai paramétereit, valamint a gépi technológia megvalósítása során jelentkező emberi tényezőket is. Ezek a tényezők a termelési körülmények kézben tartásával többé-kevésbé pontosan meghatározhatók, illetve a kívánt irányban befolyásolhatók. Az alkalmazott szárítási eljárás berendezését adottnak feltételezve, az üzemeltetés körülményeinek optimalizálásával lehet a szárítás energiafelhasználását csökkenteni.

A harmadik csoport az alkalmazott szárítási technológia kérdésköre. Ide so-

rolhatók az olyan tervezési, kiválasztási és műszaki fejlesztési kérdések, mint a szárítási technológia, annak gépi berendezései és létesítményei, a tüzelési mód (olajtüzelés, gáztüzelés és megújuló energiaforrások), és a szubjektív tényezők kizáró automatizálás.

Az alábbiakban a fent felsorolt csoportok egy-egy főbb jellemzőinek hatásait ismertetnénk a szárító energiafelhasználására.

1. A meteorológiai viszonyok és a termény tulajdonságai

1.1. Az időjárási jellemzők hatása

A mezőgazdasági termelés egyik speciális jellemzője, hogy a meteorológiai viszonyok jelentős mértékben kihatnak a termelés technológiájára és annak eredményességére. A szárító berendezések általában közvetlenül érintkeznek a környezeti levegővel és kivétel nélkül a környezetből szívott levegőt használják fel az eljárás megvalósítására. Ezért a levegő jellemzői (hőmérséklet, relatív nedvességtartalom, és légsebesség) a vízelvonó



1. ábra. A tüzelőberendezés zárt épületbe történő elhelyezése (Forrás: saját felvétel)



folyamat energiaigényét is jelentősen befolyásolják. A fajlagos hőenergia-felhasználás értéke akár 2-4%-kal is növekedhet, ha a környezeti levegő hőmérséklete 10-12°C-ról 0-2°C-ra csökken.

Gyakorlatban bizonyított módszer, hogy ha a gázegő berendezést egy épülettel vesszük körbe, akkor kevesebb hőenergiát kell befektetni a szárító fel-fűtésére. Őszi hónapokban a környezeti levegő hőmérséklete 5-15°C, az épületből viszont temperált levegő kerül be a tűztérbe, aminek a hőmérséklete magasabb, mint a környezeté kb. 5-7°C-kal. Jóval kedvezőbb ebből adódóan, ha nem a szabadba, hanem egy zárt, magasabb hőmérsékletű, zárt térbe helyezük el a tüzelő berendezést (1. ábra). A fajlagos hőenergia-fogyasztás csökkentése ezt feltétlenül indokoltá teszi.

1.2. Az anyagjellemzők hatása

A vízelvonás hőigényének változására a szárítandó anyag tulajdonságai hatnak legnagyobb mértékben. A termények, biológiai adottságaikból következően, sajátos vízleadási tulajdonsággal rendelkeznek, amelyekre a szárítástechnológia paraméterei csak korlátozott mértékű módosító hatást tudnak kifejteni. A termények vízleadási tulajdonságára alapozva jól és rosszul száradó csoportok képezhetők. Az intenzíven száradó fajták, illetve hibridek nemcsak energiatakarékosan, hanem kíméletesen is száríthatók. A szárítás időtartamában, a jól és rosszul száradó anyagok között akár 30-60%-os eltérés is adódhat. Az eltérés mértéke a rétegvastagsággal egyenes, míg a szárítóközeg hőmérsékletével fordított arányban van. A termények szárítás utáni beltartalmi értékei – a megválasztott vízelvo-

nó folyamattól függően – széles határok között változhatnak. Ez a tény a további felhasználhatóságukat lényegesen meghatározza.

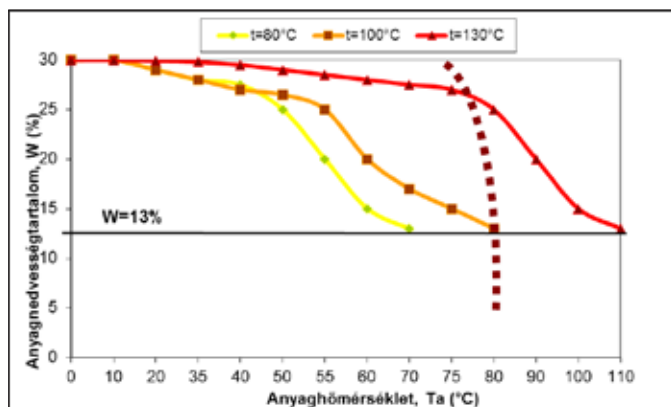
A termények beltartalmi összetevői a hőközlés hatására megváltoznak. Az anyag hőmérsékletének emelkedésével, a nedvességtartalom csökkenésével kémiai reakciók jönnek létre, amelyeknek eredménye csökkent beltartalmi összetevőjű szárítmány. A száradáskor az oldott anyagok egy része illékonyaságától függő módon a vízzel együtt elpárolog.

A hő hatására létrejövő nedvességi gradiens megindítja az anyagon belüli víz vándorlását, és emiatt a felületen elpárolgó vízből visszamaradt beltartalmi összetevők hőkárosodása kezdődik meg. Minden anyagnak van egy ún. biológiai hőmérsékleti optimuma vagy károsodási határa (2. ábra, szaggatott vonal), amelyet meghaladva egyrészt a biokémiai folyamatok felgyorsulnak, másrészt az anyagok károsodnak, ez a Maillard-reakció (karamellizáció). A tapasztalatok szerint a barnulási tevékenység, a protein- és lipidtartalommal vannak összefüggésben. Minél nagyobb a szárítandó anyag proteintartalma, annál intenzívebb a barnulási folyamat. A szemes kukorica vízelvonásakor először az embrió barnul meg, majd fokozatosan a kukorica mag többi részét is érinti (kivétel ez alól a lisztes endospermium - alacsony fehérjetartalma miatt).

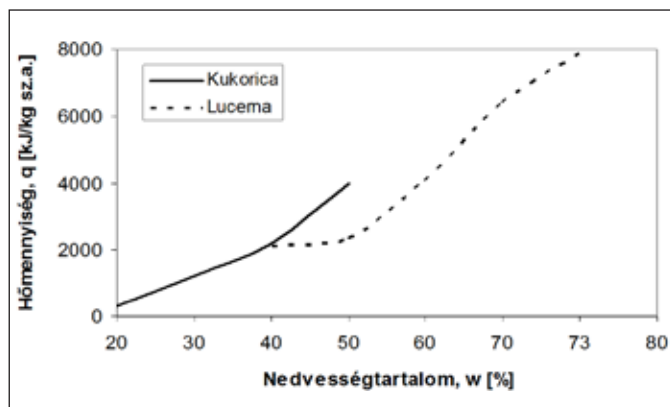
A vízelvonás hatására a kukorica szövete szerkezete is jelentős károsodást szenved. Az élő sejtek elhalnak, és ezáltal vízmegkötő-képességük nagymértékben lecsökken. Megváltozik a sejt áteresztőképessége és a sejtfal rugalmassága, valamint a szövetek sejt közötti járatainak mérete.

Mindezen káros folyamatok csökkentése, visszaszorítása érdekében a szárítóközeg hőmérsékletét és a sebességét jól meg kell választani. A kukorica nagyon érzékeny a magas hőmérsékletre, elsősorban a szárítás kezdetén és végén. Ezért úgy kellene megválasztani a szárítóközeg hőmérsékletét, hogy a magvak hőmérséklete a károsodási határ (kb. 80°C –os anyaghőmérséklet) alatt vagy közelében maradjon. Az alkalmazott közegehőmérséklet értékét annak relatív nedvességtartalma is befolyásolja. Magas nedvességtartalom esetén magasabb hőfokú levegővel is lehet kíméletes szárítást végezni. A szárítóközeg sebessége egy kritikus értékig (0,8 m/s – a teljes terményréteg felületére számítva) nem befolyásolja károsan a kukorica biológiai értékét. Alapvető kritérium, hogy a légcatornában a légsebesség nem érheti el a maglebegtetési sebességét. Elsősorban ez igaz a gravitációs rendszerű szárító-berendezésekre, ugyanis ezek a berendezések érzékenyek a nagy szárítóközeg-sebessége. A szárítóban lefelé haladó terményréteg sebessége a fokozott légáram hatására egyenlőtlené válik. Ez pedig inhomogenitást idéz elő a kukoricaszem hőmérsékletében és ennek következtében a nedvesség-tartalmában is.

A termény kezdeti nedvességtartalma jelentős mértékben hat a szárítás összes hőszükségletére. A nagy nedvességű anyag víztartalmának elviteléhez több levegőre, hőenergiára van szükség, hiszen a termények vízleadó készsége adott, és ez meghatározza a szárítás időtartamát is. A 3. ábra az 1 kg szárazanyagra fordítandó hő változását szemlélteti a termény kezdeti nedvességtartalma függvényében szemes kukorica, illetve szálas anyag



2. ábra. Az anyaghőmérséklet változása a kukoricaszem meleg levegős szárításakor (Forrás: Saját szerkesztés)



3. ábra. A kezdeti nedvességtartalom hatása az energiafelhasználásra (Forrás: saját szerkesztés)

szárításánál. Az ábrán jól megfigyelhető, hogy a kukorica nedvességtartalma a betakarítás után kisebb értéket képvisel a lucernához képest, ezért a szárításához szükséges hőmennyiség bevitel is alacsonyabb lesz. A 3. ábra emellett jól érzékelteti, hogy a kukorica betakarításkori nedvességtartalma akkor megfelelő, ha 20%-hoz közelít.

Ahogy azt az előzőekben megállapítottuk, a kukorica kezdeti nedvességtartalma jelentős mértékben meghatározza a szárítás energia-felhasználását. A tüzelőanyag-megtakarítás elsősorban az érési idő és a kukoricafajta helyes megválasztásával lehetséges. A cél, hogy olyan hibrideket vessünk el a vetési időszakban, melyek alacsony nedvességtartalommal takaríthatók be, illetve a nedvességet könnyen leadják a szárítási folyamat során.

A szárítóból kilépő anyag nedvességtartalma a tárolhatósági kritériumok függvénye. Az anyag nedvességtartalmának csökkenésével azonban a víz kötési energiája növekszik, aminek leküzdéséhez több hőre van szükség (túlszárítást ezért szükséges elkerülni!).

A szárítandó termék tisztasága a betakarításkor hozzákeveredett szerves és szervetlen anyagok (szár, levél, rög, kő, stb.), és a tört szemek részarányától függ. A szemes terményeknél a hatásos előtisztítás hiánya 3-6% hőenergia-többletet okozhat szárításkor. Ezek mellett az idegen anyagok jelenléte növeli az átáramló levegő ellenállását, ezáltal a ventilátorok energia-felvételét. A megfelelő előtisztítás az olcsóbb szárításon túl az üzembiztonságot is növeli. A szárító-

berendezésben csak tökéletesen megtisztított terményt (97-99%-os tisztaságú) szabad szárítani. Így a szárítóberendezések üzemeltetéséhez elengedhetetlenül szükséges megfelelő teljesítményű, munkaminőségű és üzembiztos tisztító berendezések alkalmazása (4. ábra).

A szárított termék hőmérséklete a folyamat végén gyakran eléri a 60-80°C-ot is. Ilyen állapotban nem raktározható, ezért a környezeti hőfokra kell lehűteni. Ez tetemes hővesztést jelent, ha a hűtőközeget a szabadba áramoltatjuk. Hővisszaforgatás során a hűtőzónából kikerülő hőmennyiséget már sikeresen felhasználják néhány szárítótípusnál.

Tárolásnál pedig különösen oda kell figyelni a mag hőmérsékletére és a relatív nedvességtartalomra. Egyrészt azért, hogy nehegy visszanedvesedjen és tönkrementen menjen az anyag, másrészt az élesztőgombák, baktériumok, penészgombák elszaporodását is meg kell gátolni.

2. A szárítóközeg jellemzőinek hatása

A mezőgazdasági gyakorlatban alkalmazott konvektív szárítási technológiában a levegő tölti be az energiatovábbító szerepet. Nem közömbös, hogy a termékkel érintkező szárítóközeg milyen jellemzőkkel rendelkezik.

A szárítóképességet elsősorban a szárítóközeg hőmérséklete határozza meg. Minél magasabb a termékhez vezetett levegő hőmérséklete, annál kedvezőbb a szárítóberendezés energiafelhasználása. Az 5. ábrán megfigyelhető a fajlagos hőfelhasználás és a szárítóközeg hőmérsékletének viszonya.

A szárítóközeg kihasználásánál jelentkező veszteségek csökkentése nehezen megoldható kérdés. Lehetőséget a jelenleg alkalmazott konstrukciók többségénél csak viszonylag bonyolult szabályozástechnika alkalmazásával lehet megteremteni. Módosításokkal azonban (pl. hővisszaforgatás, recirkuláció, regeneráció) lehetőség van a távozó szárítóközeg hőmennyiségének visszanyerésére, mely a távozó közegehőmérséklet paramétereitől függ.

A hővisszaforgatás során a szárító hűtőzónájában/szárítózónájában lévő terményen keresztülráramló meleg levegőt (magas hőmérsékletű, alacsony nedvességtartalmú része) a szárító fűtőterébe juttatva az energiaköltség nagymértékben csökkenthető (legalább 25-35%-kal).

A fajlagos hőenergia-felhasználás (q) értéke hővisszanyeréses szárítónál (ami megmutatja, hogy mekkora hőenergia szükséges 1 kg víz elpárologtatásához):

- $q < 4 \text{ MJ/kg víz}$: kedvező pl. – földgáz fűtőértéke: 34 MJ/Nm^3
- $q = 4-4,2 \text{ MJ/kg víz}$: jó
- $q \cong 4,2 \text{ MJ/kg víz}$: elfogadható

Ha az alábbi paraméterekkel üzemeltetjük a szárítót.

Szárítóközeg hőmérséklete: $-t = 110^\circ\text{C}$.

Vízfelvonás mértéke:

- $\Delta w \cong 10\%$, kukorica szárítás esetén.

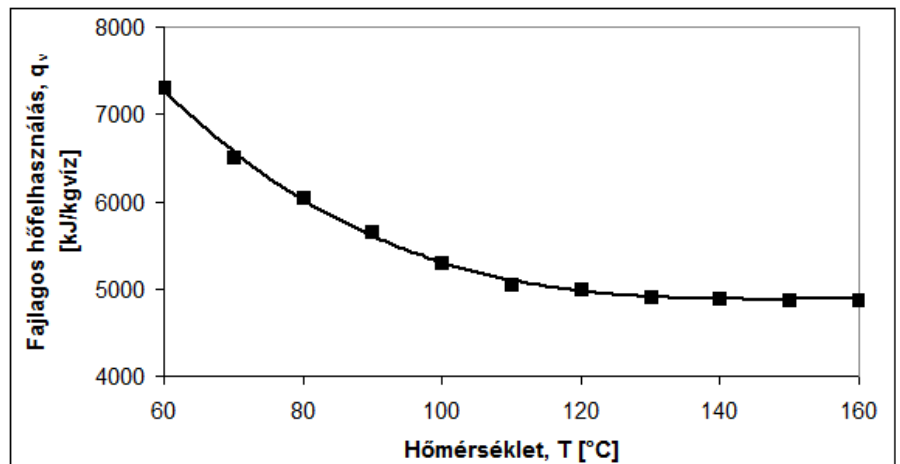
Környezeti paraméterek:

- hőmérséklet: 10°C .

- relatív páratartalom: 70%.



4. ábra. Lengőrostás univerzális magtisztító berendezés (Forrás: saját felvétel)



5. ábra. A fajlagos hőfelhasználás a közegehőmérséklet függvényében (Forrás: saját szerkesztés)



1. táblázat. Szárítóberendezés fajlagos hőenergia-fogyasztása a betakarítási nedvességtartalom függvényében (14 %-ra történő szárítás esetén)

Fajlagos hőenergia	Hőenergia forrás	Betakarítási nedvességtartalom, %				
		26	24	22	20	18
5,4 MJ/kg víz (1)	Földgáz m ³ /t	25,4	20,9	16,3	11,9	7,7
3,8 MJ/kg víz (2)	Földgáz m ³ /t	17,9	14,7	11,5	8,4	5,5

Hőenergia: földgáz, fűtőértéke: 34 MJ/m³

Megjegyzés: (1) Hagyományos szárító (2) Energiatakarékos, hővisszaforgatós szárító

(Forrás: saját szerkesztés)

A szárítóberendezések fajlagos hőenergia-felhasználása a kezdeti és végső nedvességtartalomtól (az abszolút vízelvonás mértékétől) és a felhasznált hőmennyiségtől függ. Az 1 t szárított végtermékre vetített tüzelőanyag-felhasználás értékeit különböző kezdeti nedvességtartalom mellett hagyományos (energiapazarló), illetve korszerű, hővisszaforgatós szárító esetén az 1. táblázat mutatja.

Az 1. táblázatban megfigyelhető, hogy a kukorica nedvességtartalmának csökkenésével drasztikusan csökken a tüzelőanyag-felhasználás, nem is beszélve arról, hogy milyen típusú szárítóberendezéssel történik mindez. Az energiatakarékos/hővisszaforgatós szárítóberendezés használata esetén az egységnyi meg szárított terményre eső energiaköltség relatíve alacsony, a fel nem használt gáz ára pedig a termelő zsebében marad.

A szárítóközeg vízfellevő képességét elsősorban a hőmérséklet szabja meg, azonban a szárítási sebesség és a fajlagos hőszükséglet közötti összefüggést a levegő sebessége adja meg. A nagy szárítási sebesség óriási légmennyiséget igényel. Így elméletileg a nagy nedvességtartalmú anyagokat nagy légsebességgel kellene szárítani, míg a csökkenő szárítási sebesség tartományában fokozatosan csökkenteni lehetne a közegáramlási sebességét. A légmennyiséget azonban több tényező, többek között a szárítóközeg hőmérséklete és az anyag térfogattömege (az anyag nem lebeghet ennél a szárítási módnál) is befolyásolja.

Az ún. pihentető/izzasztó szakasz alkalmazása is hőenergia felhasználás csökkenéssel jár, amelynek célja kettős, egyrészt a terményt kevésbé veszi igénybe

(repedés, törés) a forró-szárító levegő, másrészt néhány százalékkal a tárolási nedvességtartalom felett fejezik be a szárítást, ez alatt a szárítandó terményből a víz a hő közlése nélkül távozik. Így nincs szükség további energia felhasználására.

A nedvességszabályozás szintén szoros kapcsolatban van a száradási folyamat optimalizálásával, és a hőenergia-felhasználással, mivel nem engedi a rendszer, hogy a kezelt anyag túl vagy alá legyen szárítva, befolyásolva ezzel a szárítási időt, az anyag sebességét és a hőmérsékletet. A terményszárító nedvességszabályozása a terményhalmazban lévő szenzorok által mért értékek alapján történik. A rendszer az érzékelők által küldött adatok alapján szabályozza a torony ürítését vagy a fekvő szárító esetén a láncsebességet, az üzemetető által beállított nedvességérték figyelembevételével.

3. A termény felmelegítésére fordított hőmennyiség és a felületi hőveszteség

A távozó szárítóközeggel elveszített energián túlmenően két alapvető veszteséget kell számításba venni, illetve azok hatását elemezni: a termény felmelegítésére fordított hőmennyiséget és a felületi hőveszteséget.

A szárítandó nedves termény általában a környezet hőmérsékletén kerül a szárítóba. Ez az anyag tömeg a szárítás alatt felmelegszik, ami jelentős hőmennyiséget igényel. A felületi hőveszteséget elsősorban a környezeti hőmérséklet befolyásolja. Így elképzelhető, hogy az őszi-téli hónapokban az energiaveszteségek 25-30%-kal magasabbak lesznek, mint a nyári hónapokban. Amennyiben

a számított összes hőveszteséget a közölt hő százalékában adjuk meg és hatását a fajlagos hőfelhasználás adatainak alakulásával vizsgáljuk, progresszív összefüggést nyerünk. A jelenleg üzemeltetett szárítóberendezések többsége jelentős hőveszteséggel üzemel, a hőveszteségek mértékének csökkenése csak konstrukciós változtatásokkal valósítható meg.

A felületen a környezetnek átadott hőmennyiség hőszigeteléssel mérsékelhető, azonban e művelet sikeressége a szárító konstrukciós kialakításától függ. Jó eredmény elsősorban a magas hőmérsékletű közeg vezetésére kiképzett szerkezeti elemek (meleglevegő nyomócsatornák) szigetelésétől várható. A szemesztermény-szárítóknál a meleglevegő-csatornák hőszigetelése átlagosan 2-5% hőigénycsökkenést eredményez.

A veszteségek nagyobb hányada a termény melegítésére fordított hőmennyiségből adódik. A veszteségek csökkentése olyan konstrukciós módosításokkal lehetséges, amelyek biztosítják a szárított termény által tárolt hőmennyiség visszanyerését, illetve a szárítóközeg kevésbé kihasznált részének újrafelhasználását (6. ábra). Ez a technológia már az előző fejezetben bemutatásra került.



6. ábra. Hővisszaforgatós, energiatakarékos szárítóberendezés (Forrás: saját felvétel)

Felhasznált irodalom

- Beke, J. 1997. A terményszárítók üzeme. A szemesztermények anyagi tulajdonságai. In: Terményszárítás. Agroinform, Budapest. pp. 219-231., 401-409.
- Herdovics, M. 2008. Szárítók üzemeltetése. Beruházások a szántóföldi növénytermesztésben és kertészetben. Képzési program. pp. 47-48.

dr. Antal Tamás
Nyíregyházi Egyetem