

VIBRÁCIÓS SZÁRÍTÁS AZ ÉLELMISZERIPARBAN

Doktori értekezés

Benyújtja:

Zsigó István

okl.vegyész

Készült

az Élelmiszeripari Főiskola Élelmiszeripari Gépek és

Műveletek Tanszékén

Szeged, 1971.



Diss. B 669



Tartalom

Bevezetés	1
1. Irodalmi áttekintés	5
2. A méréseknél alkalmazott berendezések ismer- tetése	17
2.1 Szakaszos vibrációs-konvekciós szárító	17
2.2 Folytonos vibrációs-konvekciós szárító	20
2.3 Golyós vibrációs szárító	22
2.4 A szárítóberendezések alkalmazási értékelése	24
3. A mérési eredmények táblázatos összefoglalása és a szárítás fő paramétereinek grafikus ábrá- zolása	25
3.1 A fő paraméterek csoportosítása	59
3.1.1 Teljesítmény	59
3.1.2 Minőség	65
3.1.3 Gazdaságosság	69
3.2 A hasonlósági kritériumok	72
4. Diskusszió	75
4.1 A szárítási eljárások általánosítható vonásai	75
4.2 Optimális viszonyok	80
4.2.1 Hőátadás	81
4.2.2 Anyagátadás	88
Összefoglalás	90
Irodalom	93

Bevezetés

A szárítás folyamata élelmiszergazdaságunkban egyre nagyobb jelentőségűvé válik. A mezőgazdaság gépesítése különösen nagy szárító kapacitást igényel, mivel a gabonafélék gépi uton való betakarítása néhány éven belül gyakorlatilag országosan megoldódik. Az így begyűjtött gabona és takarmányfélék tárolása csak egy bizonyos nedvességtartalom érték alatt oldható meg, és ezt az értéket szárítással érik el. A kukorica gépi betakarítása például csupán 2-3 éve kezdődött hazánkban, és néhány éven belül a folyamat teljes gépesítését tervezik. Ez önmagában véve is nagy szárítási feladatot jelent.

A félkész és készételek széleskörű elterjedése, valamint a biológiai értékükben koncentráltabb élelmiszerek iránti kereslet növekedése további szárítási feladatot jelent. Az állati eredetű élelmiszerek szárítása is egyre inkább előtérbe kerül.

A zöldségfélék vízelvonásos tartósítása szintén komoly jelentőségű.

A gabonafélék, az állati eredetű élelmiszerek, és a zöldségfélék szárítása évszázadok óta feladat, de a kérdés teljes értékű megoldása csak a jövőtől várható. Jelenleg az élelmiszergazdaságot érintő

anyagok szárítására számos, tudományos igényeket is kielégítő, technológiát dolgoztak ki, amelyeket ma is alkalmaznak. A legjelentősebb szárítási eljárások a következők:

a konvekciós

a szublimációs liofilezés és

a porlasztva szárítás

Kevésbé kiforrott ill. elterjedt szárítási eljárások az alábbiak:

a vákuum szárítás

az infravörös sugarakkal

nagyfrekvenciás elektromos rezgéssel és

a habszövet szárítás.

Hazánkban általánosságban a konvekciós szárítást alkalmazzák. Az összes többi szárítási mód elhanyagolható, ha a szárított összes anyagmennyiséget figyelembe vesszük.

Fejlettebb iparral rendelkező országokban a konvekciós szárítás mellett jelentős még a szublimációs szárítás.

A konvekciós szárítással foglalkozók részéről általános törekvés, hogy a teljesítményt minél gazdaságosabb feltételek mellett növeljék. Ennek eredményeként az összes említésre méltó szárítóberendezésre és

száritott anyagra kimérték az optimális paraméter értékeket. A további teljesítménynövelés csak újabb, - a száritást elősegítő tényező - alkalmazásával képzelhető el. Ebből a szemléletből kiindulva irányultak vizsgálataink a vibrációra, mint új tényező alkalmazására a konvekciós száritásnál. Munkánkban a következtetéseket olyan konvekciós száritási mérőssorozatra építettük, amelyek minden vonatkozásában azonos körülmények között játszódtak le. A változást, a mérések közötti különbséget csak a vibráció képezte. Tehát hagyományosan száritottunk az általánosan elfogadott paraméter értékekkel, majd megismételve vibráció alkalmazásával.

Az élelmiszeripari anyagok egy csoportja viszkozus-anomális folyadék jellegű. Pl. tojás-mélange, tej, pektin-kivonat, sűrítmények stb. Ezekből száritási technológia alkalmazásával port készítenek, - az ilyen irányú igények kielégítésére. Az élelmiszeripari anyagok porítására elsősorban a porlasztva száritást alkalmazzák. Ez a száritási eljárás kis teljesítménnyel és nagy anyagvesztéssel dolgozik. Ezért az anomális folyadékok száritását ujnak mondható módszerrel, - vibráltatott porcelángolyók között, vacuumban - vizsgáltuk. A módszer alapját az képezi, hogy a golyók

a szárítás folyamán a felületi vizelszáró kéregképződést gyakorlatilag megakadályozzák, s ezzel egyidőben a száradást elősegítő új felületet képeznek. A berendezésben a folyadék vibráció következtében filmet képezve bevonja a golyók felületét. A nagy felület a vibráció a vákuum és a hőközlés az anomális folyadékot intenzív száradási állapotban tartja. Méréseink célja az volt, hogy az új típusú modell-berendezésen az optimális üzemeltetési körülményeket megvizsgáljuk. Meghatároztuk a golyó felületének, a térkitöltésnek, a folyadékszintnek és a vibrációnak szerepét az elpárologtatott vízmennyiség függvényében. Összehasonlító vizsgálatokat végeztünk porlasztó-száritó és egyéb hasonló berendezésekkel, a teljesítményt és egyéb gazdaságossági tényezőket figyelembe véve.

Méréseink modellanyagául a gabonafélék közül; az árpát és a kukoricát, az állati eredetű anyagok közül; a baromfi- és a marhahúst, valamint tojás-mezslaszt választottuk. Ezek mellett egyéb anyagok vibrációs szárítását kisebb részletességgel vizsgáltuk, és eme eredményekről a dolgozat további részében vázlatos feldolgozást adunk.

A vibráció hatásának vizsgálatánál elsődlegesnek az iparban hasznosítható jelenségeket tartottuk.

¹ Irodalmi áttekintés

A konvekciós szárítás esetében szárítóközegként felmelegített gázt /levegőt/ alkalmaznak, amely egyidőben hőátadó és nedvességfelvevő közeg. A szárítói-
parban számos gyakorlati megoldás ismeretes. Pl.: a
levegőt az anyagréteg felett egyen- vagy ellenáramban,
más esetekben magán az anyagrétegen áramoltatják ke-
resztül. Ismeretesek olyan megoldások, amikor az a-
nyag szárítását fluidizációval kombinálják, vagy pne-
umatikus anyagmozgatással kapcsolják össze. Más ese-
tekben az anyag mozgatása szállító szalagokkal, vagy
a levegőárammal szemben való gravitációs úton törté-
nik. Olyan berendezéseket is alkalmaznak, amelyekben
az anyagot tartó felület fűthető.

Általános követelmény, hogy a szárító berende-
zések alkalmazhatóságát az illető anyag tulajdon-
ságai a késztermékkel szemben állított követelmé-
nyek határozzák meg.

A legtöbb élelmiszer kolloid állapotú, szerkezetét
tekintve pedig kapilláris-pórusos, amelyben a ned-
vesség aránylag erősen kötődik a szilárd vázhoz. Az
élelmiszerek jelentős nedvességtartalommal rendel-
keznek és ennek nagyrésztét szárítással kell eltávo-
litanunk.

A szárítás instacioner folyamat, amelynél az anyag nedvességtartalma mind a térben, mind időben változik. Első lépésként a nedvesség az anyag felületére diffundál, onnan pedig a szárító közegbe.

A szárítás intenzitását az anyagi tulajdonságok összessége, és az alapvető hajtóerő határozza meg, amely az élelmiszerek esetében a nyomásgradiens [1] .

A szárítás általános elméleti vonatkozásait jelen munka részben tárgyalja a vibráció hatásának vizsgálatához szükséges ismereteket említi meg.

A szárítási folyamat vizsgálatára a szárítási görbe és a szárítási sebességgörbe ad lehetőséget.

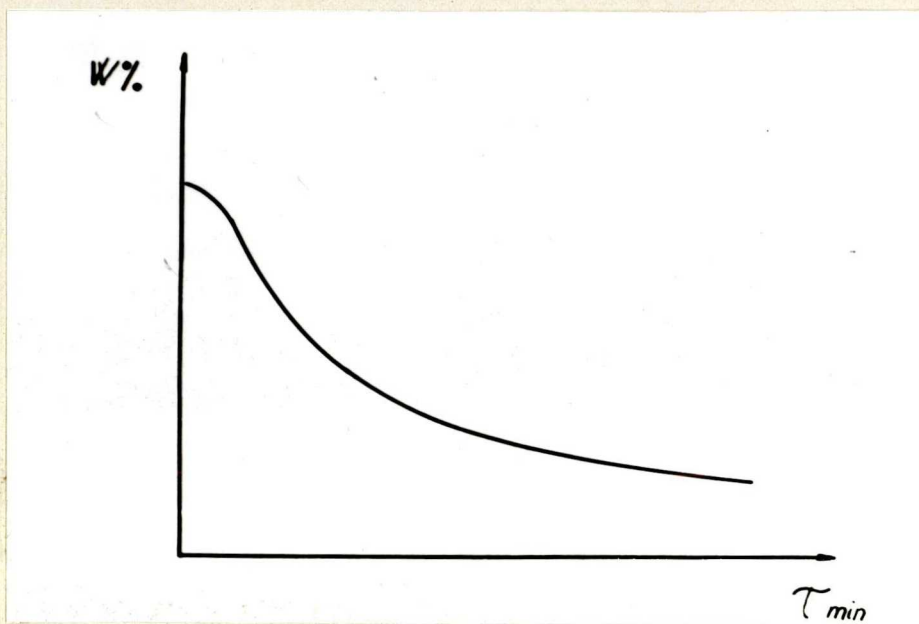
A szárítási görbe függőleges tengelyén az anyag abszolút szárazanyag súlyára vonatkoztatott nedvességtartalmat W /, a vízszintes tengelyen az időt jelöljük.

A W nedvességtartalmat a

$$W = \frac{G_{\text{viz}}}{G_{\text{sz.a.}}} \cdot 100 \%$$

egyenlettel nyerjük, ahol a G_{viz} a víz súlyát, a $G_{\text{sz.a.}}$ az anyag abszolút szárazanyag súlyát jelenti [2] .

A szárítási görbe az anyag időbeni átlagos nedvességtartalmának változását jellemzi. Ilyen általános szárítási görbe az 1. sz. ábrán látható.



1. ábra.

A szárítási görbe vizsgálatából kitűnik, hogy a kezdeti állapot után, amely hő- és anyagátadás szempontjából rendezetlen, egy hosszabb, ún. állandó sebességű szakasz következik. Erre a tartományra a lineáris nedvességtartalom csökkenése jellemző, ebben a szakaszban az anyag felülete nedves. A szárítást meg-

határozó tényező ebben az intervallumban az anyag felületén lévő víz tenziójának és a szárító közeg vízgőz parciális nyomása közötti különbség.

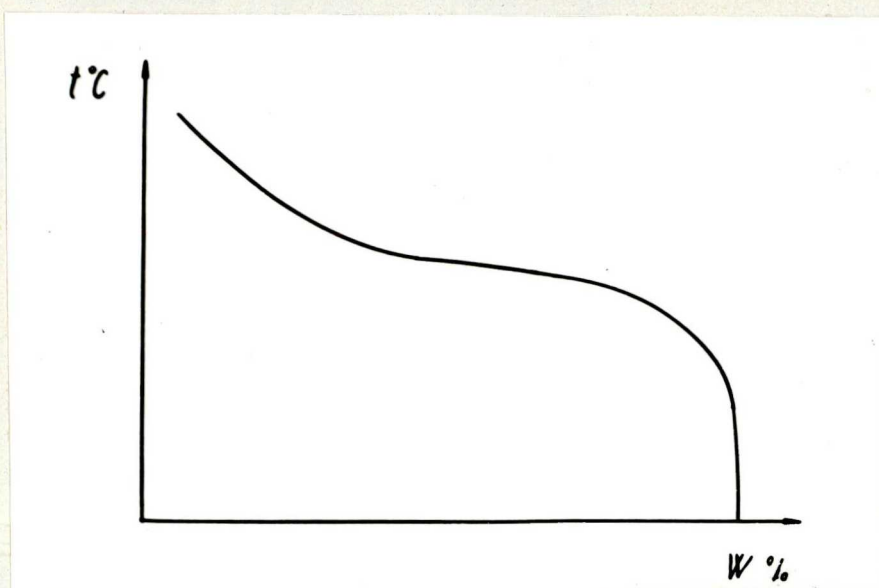
x A lineáris szárítási szakasz végéhez az a kritikus nedvességtartalom tartozik, amelytől kezdve nem lineárisan, és lényegesen kisebb sebességgel csökken a nedvességtartalom. Ekkor az anyag felületén száraz foltok jelennek meg és ezek aránya a nedves felülethez viszonyítva növekedik.

A végső szakaszban tovább csökken a szárítás sebessége. Ebben a tartományban az anyag felülete száraz. A szárítást meghatározó tényező az anyag belsőjéből a felület irányába diffundáló nedvesség sebessége, ill. diffúziós állandója.

Minden élelmiszeripari anyagnak ismeretes a szárítási görbéje, amely az anyagi tulajdonságoknak megfelelően alakul, arra jellemző. Egyben utal a szárítás megvalósításának körülményeire.

A szárítási görbéből vezethető le a szárítási sebességgörbe, amely a $\frac{dw}{d\tau} = f/w$ függvénykapcsolatot írja le.

Az anyag hőmérsékletének jellemzésére a hőmérséklet görbe szolgál, amely a $t = f/w$ kapcsolatot mutatja be, 2. ábra.



2. ábra.

A szárítás első szakaszában az anyag hőmérséklete gyorsan emelkedik, eléri a nedves hőmérő hőmérsékletét, és a kritikus nedvességtartalomig állandó értéken marad. A csökkenő száradási sebességszakasz végén, amikor az anyag eléri az egyensúlyi nedvességértékét /nincs nedvesség leadás/, hőmérséklete egyenlő lesz a szárító közeg hőmérsékletével.

A hőmérséklet görbe az anyagi tulajdonságokon túl, az anyag rétegvastagságának /terítés/ vizsgálatára is alkalmas.

A konvekciós szárítás esetében a levegő sebessége, hőmérséklete és páratartalma alapvetően meghatározó tényezők. Az áramlási viszonyokat ventilláto-

rokka! biztosítják, amelyet a Bernoulli egyenlettel /illetve ennek módosított formáival nyugvó és fluid ágyakra/ írhatunk le. A hőátadási és anyagátadási viszonyok a hő és anyagnérleggel követhetők. A szárító közegre vonatkozó fizikai változások a Mollier féle $i-x$ diagram segítségével határozhatók meg.

A szárítás alatt, különösen annak kezdeti szakaszán, jelentős az anyag felületén kialakult határréteg hő-ellenállásának a figyelembevételé.

Ugyanis részben ettől függ az anyag felmelegedési sebessége. A hőátadási tényezőt a nyugvó, illetve fluidizált szemcséshalmazokra alkalmazott Nusselt függvényekkel határozzák meg. Megjegyezzük, hogy a közeg és szemese közötti hőátadási viszonyokra vonatkozó összefüggések, illetve ezek érvényessége kis hatósugaru, főleg finomabb szemcséjű /1 mm alatti/ ásványi eredetű porokra korlátozódik [3].

A vibráció következtében a szemcsés anyagok szárításánál a hőátadási tényező olyan mértékben nagyobbodik, hogy a szárítási sebesség megnövekedéséhez vezet.

A vibrációs-golyós-vacuumszáritó hig oldatok esetében, ha vizelvonás első fázisában, mint besűrítő fogható fel. A második fázisban, az utolsó vizrészlet eltávolításánál /amikor az anyag már nehezen folyó/mint szárítót tárgyaljuk. Ennek megfelelően: amíg a forrásra jellemző buborékképződés és intenzív áramlás tapasztalható, addig

a besűrités műveletére alkalmazott összefüggések a változások leírására és a teljesítmény összehasonlítására nyújtanak alapot.

A mérések modell anyagai.

Ebben a fejezetben azokat a növényi és állati eredetű anyagokat ismertettük, amelyekkel a méréseket végeztük. A felsorolásban kitérünk az anyag fajtajára, származására, a szárítás céljára, és a szárítóiparban alkalmazott berendezések technológiai paramétereire, amelyek mérési eredményein értékelésnél az összehasonlítási alapot képezik.

Növényi eredetű anyagok. /gabona félék/.

A gabonafélék tárolásánál 14-15 % nedvességtartalom kedvező. Ezt az értékeket különböző, de minden esetben konvekciós rendszerű szárítókkal állítják elő. A tárolás után a gabona féléket takarmányozásra, ipari célokra és vetőmagnak használják fel. A konvekciós szárítás hőkezelést is jelent, amely a takarmányozás és az ipar számára kezelt termékek esetében gyakorlatilag azonos módon történik[17].

Árpa

Hazánkban őszi és tavaszi árpát termelnek. Az őszi árpát takarmányozási, a tavaszi árpát söripari célra használják. Méréseinknél Mezőhegyesi 68 őszi árpát alkalmaztuk. Néhány kontroll-mérés azt mutatja, hogy a szárítás szempontjából az egyes fajták azonosnak tekinthetők.

Kukorica

Nálunk elsősorban takarmányozási célokra használják, de közismert étkezési és ipari alkalmazása is. /keményítő, gyógyszeripar/. Számos kukorica-fajta ismeretes, amelyek közül az előtérbe helyezett "sárga lófogu"-ak közül a szegedi változatot használtuk méréseinkhez, morzsolt, tisztított állapotban. A kukoricát csövesen is szárítják, azonban az arató-morzsológép alkalmazása a szemes kukorica szárítását igényli.

Gabonafőlék konvekciós szárításának főbb paraméterei[4]:

Paraméterek	Takarmány ill. ipari	Vetőmag
Max. anyag hőmérséklet C°	90	40
Max. levegő hőmérséklet C°	120	75
Levegő /kimenő/ rel. páratart. %	50-60	50-60
Levegő áramlási seb. m/s	2-8	2-8
Száritási idő perc	60-70	60-70
Hőfelhasználás Kcal/kg viz	1000-1200	1000-1200
Rétegvastagság cm	8-30	8-20

A szárítási idő 15 % nedvességtartalomra való csökkenés esetében érvényes [4]. A gabonafőlék ugyanis 28-30 %-os nedvességtartalommal kerülnek szárításra, és csak a 15 % nedvesség elvonás után lesznek raktározhatóak. A levegő áramlási sebessége 8 m/s felett lebegést idéz elő, pl.

az árpa lebogási sebessége 8,4 - 10 m/s [2].

A paraméterek alacsonyabb értékei kevésbé korszerű szárítóberendezésekre, a magasabb értékek a nagyteljesítményű szárítókra érvényesek.

A kimenő levegő páratartalma az 50-60 % értéket csak a szárítás első szakaszában éri el, ugyanis a második szakaszban, - amikor az anyagon belüli nedvesség diffúzió a meghatározó, a kimenő páratartalom csökken, viszont nagyobb koncentráció, gradiens, illetve hajtóerő fenntartása szükséges, a nagyobb nedvességekötődés miatt.

A táblázatban szereplő adatokat a Gabona TRÖSZT Csongrádmegyei Vállalata bocsátotta rendelkezésünkre. Jelenleg ezekkel a paraméterekkel leírt körülmények között szárítják gyakorlatilag az egész ország gabonatermését. Az üzemelő berendezések 6 különböző típusával dolgoznak.

Állati eredetűek. /hus, tojás/

Az állati eredetű élelmiszeripari anyagok szárítását a tartósítás és félkésztermékek előállítása céljából végzik. A szárítást több előkészítő műveletnek kell megelőznie, ilyenek az aprítás, főzés, stb. Az aprításra rendszerint 13 mm átmérőjű, tárcsával felszerelt, husdarálót használunk. Az aprított húst kétszeres mennyiségű 80 °C-hőmérsékletű vízben 40 percig főzik. A főtt husról a vizet lecsorgatják, majd tálcákra rakják és konvekciós uton szárítják.

Marhahús

Hazánkban a Szegedi Paprikafeldolgozó Vállalatnál tasakos gulyásleves gyártáshoz szárítanak nagyobb mennyiségű marhahúst.

A szárítási paraméterek a következők[5]:

Levegő maximális hőmérséklete	°C	75
Anyag maximális hőmérséklete	°C	45
Levegő /kimenő/ páratartalma	%	50
Levegő max. áramlási sebessége	m/s	2-4
Száritási idő	perc	240
Rétegvastagság	cm	3

A szárítási idő a kezdeti 65-70 %-os nedvességtartalomról a tartósítást jelentő 10-12 %-ig való csökkenés ideje [5]. A rétegvastagság a szárítás végén a kezdeti vastagság felénél is kisebb lesz, a jelentős nedvességtartalom csökkenés következtében. Méréseinkhez a kereskedelemben vásárolható friss marhahúst használtuk fel.

Baromfi

A baromfi szárításának körülményei gyakorlatilag azonosak a marhahúsnál említettekkel. Az előkészítésnél a főzési idő 20 perc, egyéb vonatkozásban a paraméterek megegyeznek. Méréseinkhez a kereskedelemben vásárolható fagyasztott baromfit alkalmaztuk, nagyjából a BOV Szentesi gyára termékeit.

Tojás

A tojás szárítását jelenleg tálcákon, levegővel fűtött forgó henger felületén, vácuumban és porlasztással végzik.

A szárított termék mennyiségét tekintve gyakorlatilag kizárólagosan a porlasztásos szárítás az általánosan elterjedt, alkalmazott technológia. A tojásport hazánkban is így készítik.

A tálcás és hengeres berendezésekben a tojást 55°C -on szárítják. A tálcákra 1 cm vastag rétegben öntik az emulgeált tojást, ahol 24-36 óra alatt szárad meg, azaz a víztartalom 6-8 %-ig csökken [6].

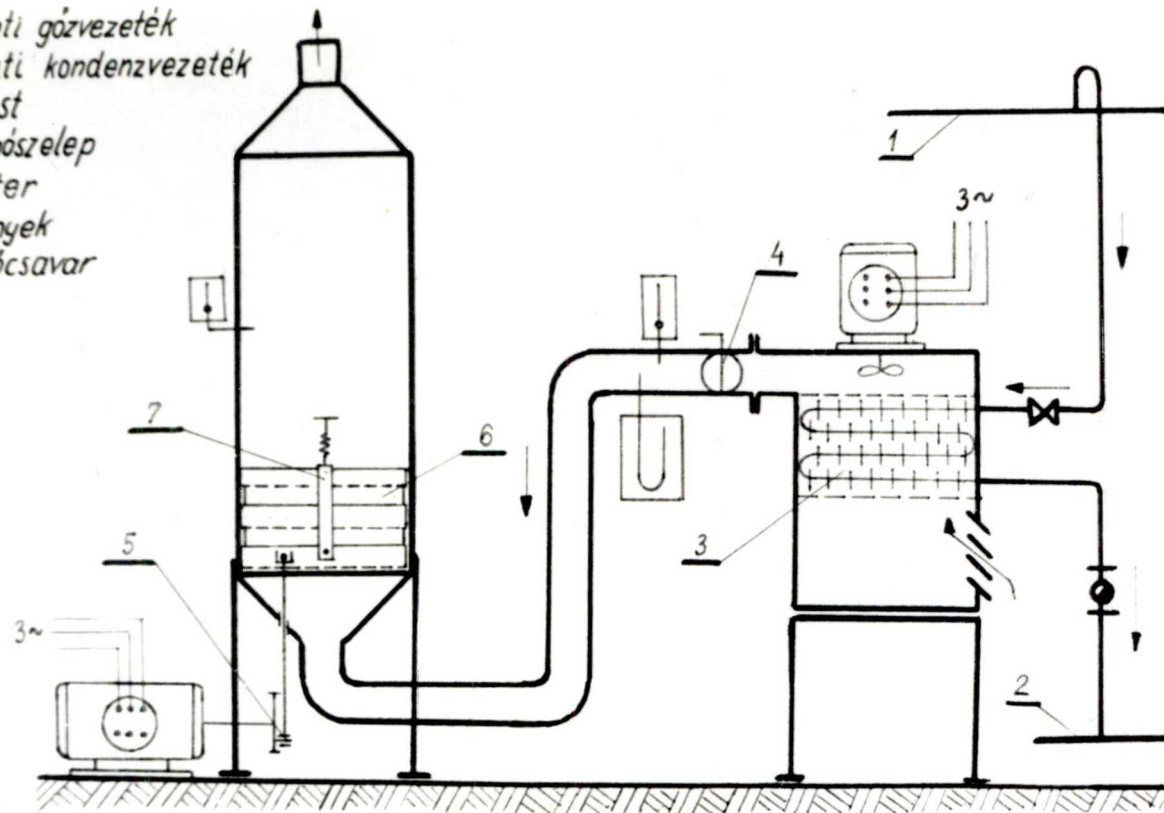
A porlasztó berendezésekben 130°C -os levegővel szárítják a porított tojásmélange-ot. Abban az esetben, ha 8°C -ra hűtött tojáslevet dolgoznak fel, a szárító levegő hőmérséklete 200°C [7].

Hasonló körülmények között dolgozik a Budafoki Tojáspor előállító üzem, ahol egy módosított Niró rendszerű 4 m átmérőjű és 4 m magas hengerben porlasztják a tojásmélange-ot, meleg levegővel való szárítással egybekötve.

Egy ilyen egység óránként 200 liter vizet párologtat el. Ritkábban külön-külön is szárítják a tojás fehérjét és sárgáját [6].

Jelen munka csak a tojás fehérje és sárgája természetes arányu emulziójával végzett mérésekről ad tájékoztatót. Méréseinkhez a kereskedelemben kapható tojást használtuk fel.

- 1. Hálózati gőzvezeték
- 2. Hálózati kondenzvezeték
- 3. Fűtőtest
- 4. Pillangószelep
- 5. Excenter
- 6. Cserények
- 7. Rögzítőcsavar



3. ábra

2. A méréseknél alkalmazott berendezések ismertetése.

A Szegedi Élelmiszeripari Főiskola műveletek-munkatér-mében állítottuk össze a következőkben ismertetett szárító berendezéseket, elsősorban a vibráció szárításra gyakorolt hatásának vizsgálatára. A berendezéseket egyrészt üzemeiből, másrészt az intézetben készült gépek, illetve alkatrészek felhasználásával állítottuk össze.

2.1 Szakaszos vibrációs-konvekciós szárító. 3 ábra .

A berendezés gőzfűtésű ventillátorral ellátott levegő melegítőből, /ELGÉP gyártmányu, 20620 kcal/h teljesítményű/ és egy ehhez csatlakozó cserényes szárítóból áll. A cserények rögzítő csavarral összeállíthatók, amelyeket az alattuk elhelyezett villanymotorral merev rud excenter közbeiktatásával egybeerősítettük. A cserények "szekrényben" helyezkednek el, amely biztosítja a meleg levegő alulról felfelé való áramlását. A cserények oldala keményfából, tartó felülete 2 mm nyílással szőtt műanyag-hálóból készült, főbb méretei:

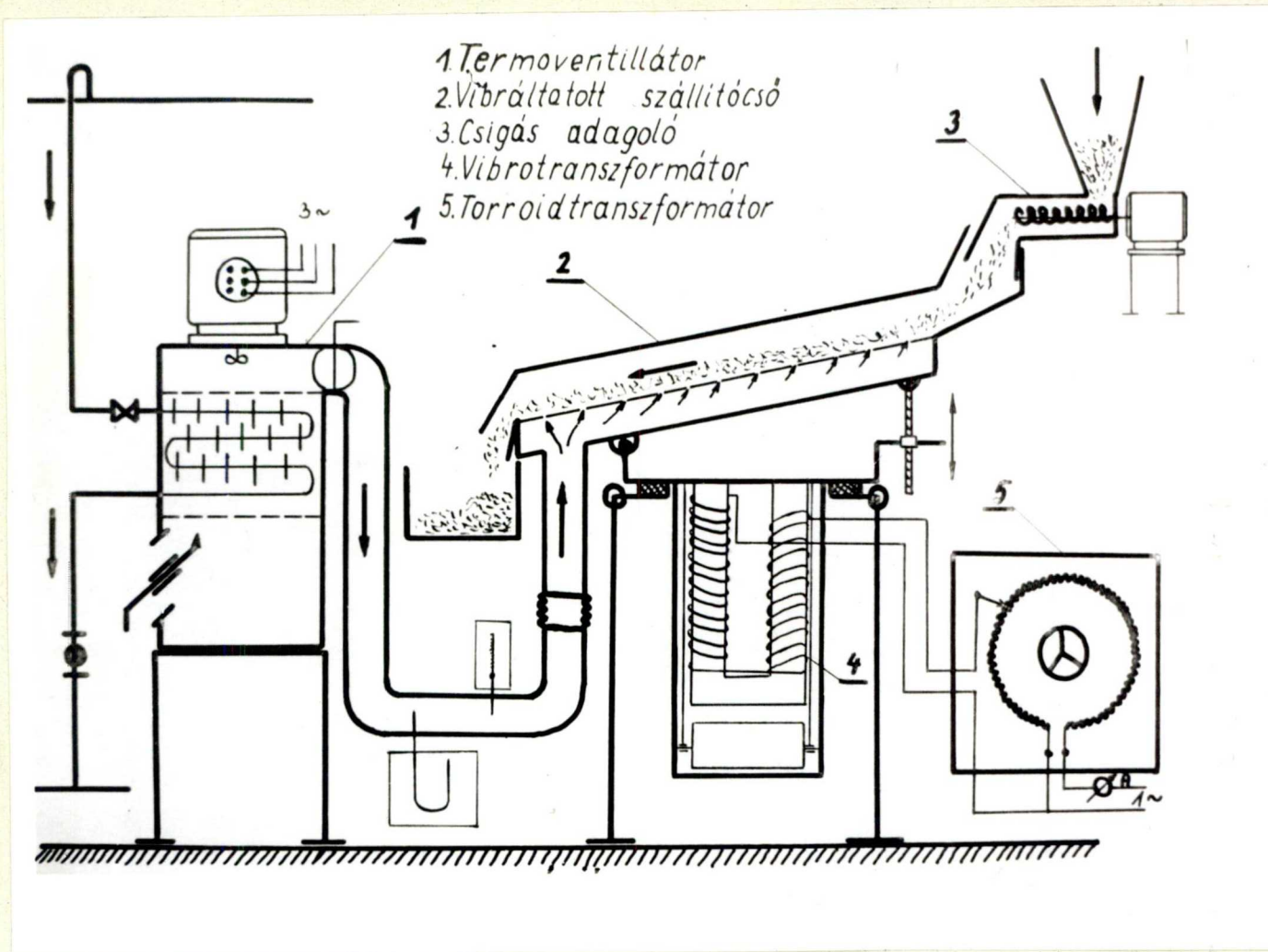
300 x 300 x 80 mm. Egymás fölé max. 10 db cserény helyezhető el. Egy cserényben max. rétegvastagság esetén 6000 g gabona féle, ill. 6000 g főtt hus helyezhető el. A vibráció mértékét egyrészt a motor fordulatszámaival, másrészt az excenter kitérésének mértékével változtattuk. 1490/min és 2800/min frekvenciával és 2 mm-től 5,5 mm-ig változtatható amplitudóval szárítottunk. Az áramlási sebességet kanalas anemométerrel mértük. A berendezésen elérhető max. érték 4.0 m/s volt, csökkentésére a meleg levegőt szállító 135 mm átmérőjű csővezetékbe épített

pillangószelepet használtuk. A levegő hőmérséklet mérésére beépített higanyos hőmérők szolgáltak. A távozó levegő relatív páratartalmát Fischer-féle műanyagszálas higrométerrel mértük.

Mérés a szakaszos vibrációs-konvekciós szárítóval.

A berendezés üzembehelyezésénél első a termoventilátor bekapcsolása, és a hálózati fűtőgőz szelep megnyitása. A feltöltött és az anyaggal együtt gramm pontossággal bemért cserényeket csak akkor helyeztük a szárítóba, amikor abban a levegő hőmérséklete állandósult. A hőmérséklet kívánt értékre való állítását a gőzszelep megnyitásával végeztük. A szárításra előkészített anyaggal minden esetben két mérést, azaz két szárítási görbét vettünk fel, az egyiket vibráltatott szárításnál, a másikat anélkül. Maximálisan törekedtünk arra, hogy a körülmények minden más tekintetben azonosak legyenek. Az alapvető paraméterek mérésénél ez nem okozott nehézséget, mivel a ventilátor állandó fordulatszáma az áramlási sebességet a második tizedes pontossággal tartotta; a fűtőgőz ellátás ingadozása nem volt jelentős és a szárítóba belépő levegő hőmérsékletét $\pm 1,5^\circ\text{C}$ pontossággal tartotta. Hasonlóan csekély ingadozást mutatott a munkaterem hőmérséklete és páratartalma. Azonos nedvességű és tömegű /előzőleg összekevert/ anyagot mértünk ki. A szárítási görbékhez szükséges adatok felvételéhez 5 percenként kiemeltük a cserényeket és a súlyvesztéseket gyorsmérlegen mértük.

Egy ilyen mérés 25 másodpercet vett igénybe, minden mérlegelést megelőzően 1 perccel a kilépő levegő hőmérsékletét és páratartalmát meghatároztuk.



4. ábra

2.2 Folytonos vibrációs-konvekciós szárító. 4. ábra.

A vibrációs-konvekciós szárító folytonos üzemi változata elvi működését tekintve azonos az előbbieken ismertetett szakaszos berendezéssel. A folytonos készülék vibrációval kombinált fluidizációs szárító, és egyidőben az anyag szállítását is végzi.

A folytonos berendezés meleg levegőt biztosító egysége azonos a szakaszos berendezésnél bemutatottal. A vibráltatott szárító-szállító kettőbe osztott cső, alsómeleg levegőt szállító része 25 mm vastag deszkából; felső része fakeretbe foglalt üvegből készült.

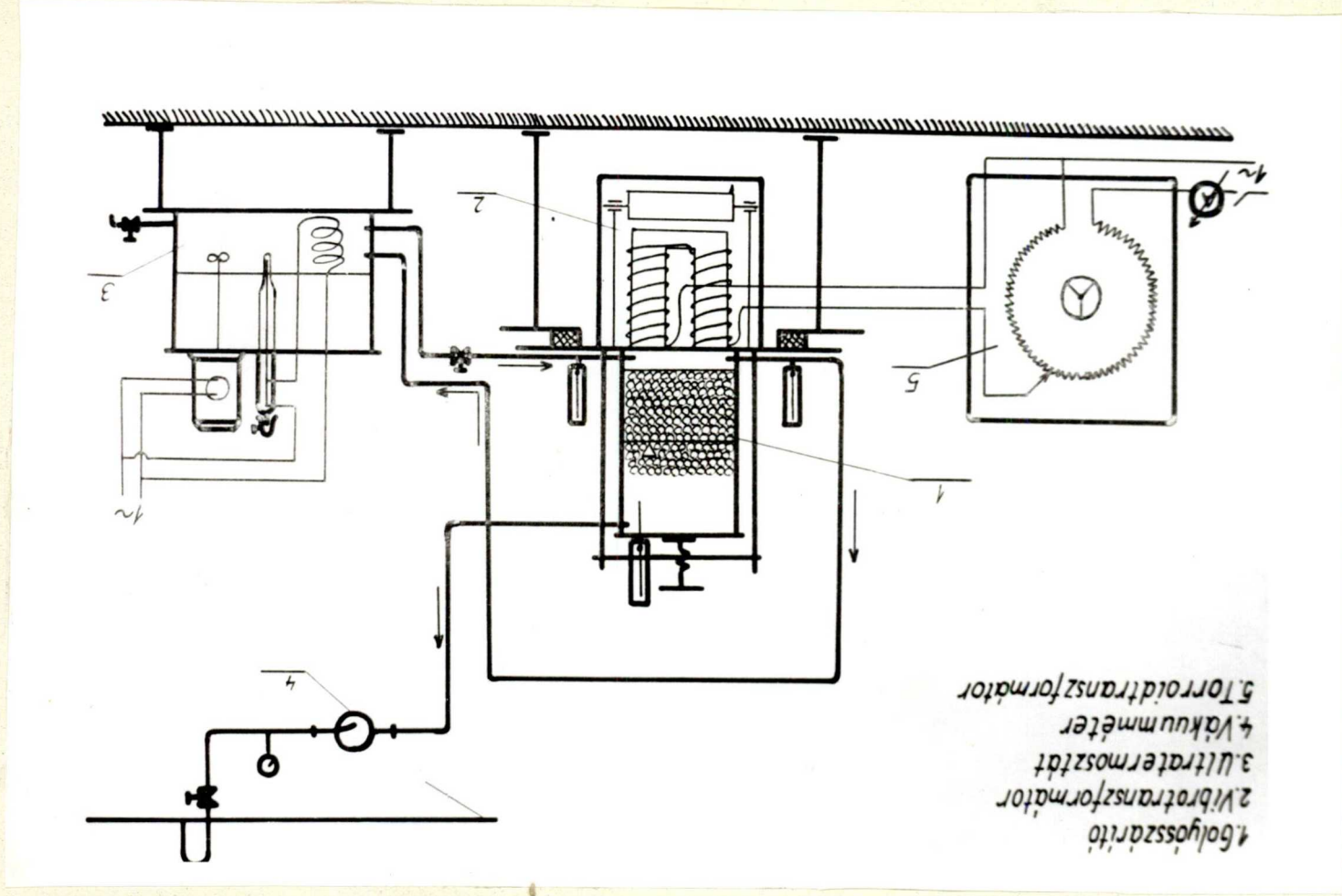
A szemcsék tartására 0,1 mm nyílással szőtt-vörösréz szövetet alkalmaztunk. A szállító cső a vízszintesből 20 °-os lejtésig változtatható, amely az áthaladási illetve tartozkodási idő beállítására alkalmas. Ez a vízszintes helyzetben szakaszosan működtethető.

A cső főbb méretei: hossza 1,5 m, légszállító keresztmetszete 0,12 m x 0,10 m, az anyagszállító keresztmetszete 0,12 m x 0,10 m.

Az egyenletes anyagellátást csigás adagoló biztosította, 40/min. - 500/min. fordulatszám intervallumban, amely 1 kg/min.-től 100 kg/min.-ig állandó tömegáramot adott.

A vibrációt egy üzemből származó vibró-transzformátor biztosította, 500 kg maximális tömeg mozgatására alkalmas 3000/min. állandó frekvenciával és maximálisan 2,0 mm amplitudóval. A vibró-transzformátort egyrészt a nagy indítási ellenállás miatt, másrészt az amplitudó állítása cél-

jából egy 0 - 240 V-ig változtatható toroidtranszformá-
toron keresztül kapcsoltuk be.



5. ábra

A folytonos szárítóba be és kilépő anyag nedvességtartalmát Hygropress homok-nedvességmérővel mértük. Ez a nedvességmérő műszer a dielektromos állandó meghatározásának elvén működik. A műszert árpára és kukoricára bekalibráltuk olyan módon, hogy az anyagot a mérést megelőzően háztartási elektromos kávédarálóban 20 másodpercig aprítottuk.

2.3. Golyós-vibrációs szárító. /5. ábra/

Ez a készülék magas nedvességtartalmu folyadékok esetében a víz elvonás első fázisában intenzív forrást tart fenn. Ebben a szakaszban a sűrítőkhöz hasonlóan üzemel. Amikor az anyag már nehezen folyó, közel szilárd anyag, a berendezés szárítóként fogható fel.

A folytonos vibrációs-konvekciós szárítónál ismertett vibro-transzformátorral hoztuk rezgésbe azt a "tartályt" amelyben a szárítás történt. A tartály 200 mm átmérőjű, 250 mm magas henger alakú test, acélból készült. Alsó kiképzése dupla falú, amely melegvízfűtést tesz lehetővé. A szárító oldalon vacuumcsatlakozást alakítottunk ki. A vacuumot központi, üzemi méretű nedves vacuumszivattyú biztosította, max. 700 Hgmm nyomáskülönbség értékkel.

A tartályban /továbbiakban golyós szárító/ mázatlan porcelán golyókat helyeztünk el, amelyek azonosak a laboratóriumi porcelán golyós malmokban alkalmazott porcelán gömbökkel. Méréseinknél 15, 20 és 25 mm átmérőjű gömbökkel, ill. ezek kombinációival dolgoztunk.

A golyók funkciója egyrészt a vibráció következtében bekövetkező intenzív keverés, másrészt az elpárolgást elősegítő felület növelés, harmadrészt a szilárduló és már szilárd anyag szárítását elősegítő szétkenés, törés, ill. aprítás, amely kedvező szárítási állapotot biztosít.

A golyós szárító csőcsatlakozásait hajlékony gumival oldottuk meg. A vibrátorhoz egyetlen csavar szorítja, így könnyen oldható, tartalma kényelmesen vizsgálható és a szárítás végén kiüríthető. Fedele 15 mm-es plexi, így megfelelő világítás al üzemelés alatt is szemmel követhető a szárítás.

A melegviz fűtést V3 típusú német gyártmányú ultratermosztáttal oldottuk meg. A be és kilépő, valamint a páratéri hőmérsékletet beépített higanyos hőmérővel ellenőriztük.

A golyós szárítót mérés előtt minden alkalommal 30 percig vízzel üzemeltettük, azoknak a paramétereknek a tartása mellett, amelyeknél a mérést megterveztük. /nyomás, hőmérséklet, golyók, vibráció/ Ezáltal a golyók és a berendezés egyéb részei hőmérsékleteloszlás tekintetében állandósultak.

A szárítási méréseknél első lépésként az előmelegített anyagot öntöttük az ugyancsak előmelegített berendezésbe a golyók közé, majd a vácuumot kapcsoltuk rá. Ezt követően - rögzítés után - a vibrátort hoztuk működésbe. A szárazanyagtartalom vizsgálatát egyenlő időközönként refraktómméterrel végeztük. A "száraz" porig szárított anyag a golyóktól teljesen elválk, a golyók alatt gyűlik össze,

így a szétválasztást egyszerű szétöntéssel oldottuk meg. A porcelán golyók 1-2 fokos lejtéssel kigurultak, a por viszont 50-60 fokos szög esetén hullott ki a golyós szárítóból.

2.4 A szárítóberendezések alkalmazási értékelése.

Az ismertetett berendezések félüzemieknek tekinthetők, miután üzemi viszonyok rekonstruálására adnak lehetőséget.

A konvekciós szárítókat nem azzal a törekvéssel állítottuk össze, hogy a szárítás paramétereinek az optimumát határozzuk meg, mivel ezek már ismertek. Csupán a vibráció hatásának vizsgálata volt a célunk.

A hőhasznosítás szempontjából nem a legszerencsésebbek a bemutatott konvekciós szárítók, de ez a párhuzamos mérések következtében /vibráltatva és anélkül/ a célkitűzést nem zavarják. A kilépő levegő páratartalma sem érte el a legkedvezőbb értéket, miután a levegőt csak egyszer hasznosítottuk. Több fokozat kialakításával lehetett volna üzemi viszonyokhoz hasonlóan kedvezőbb feltételeket biztosítani, ez azonban a vibrációra vonatkozó méréseinket nem befolyásolja.

A golyós szárító esetében célkitűzés volt az egyszerű elképzelés alkalmazhatóságának eldöntése. Mindenekelőtt az, hogy lehet-e porig szárítani ilyen módon, és ha igen, akkor milyen alapvető feltételekkel.

Egyik feladat az anyagkihozatal vizsgálata volt, mivel a porlasztva szárítók jelentős anyagvesztéssel dolgoznak.

Az ismerttetett berendezés segítségével egyértelmű választ kaptunk ezekre a kérdésekre, annak ellenére, hogy ez a golyósszáritó optimális viszonyokat nem nyújtott számunkra. Minden valószínűség szerint kedvezőbb volna a félgömb alakú, duplafalu fenékkiképzés, továbbá a folytonos üzemi golyósszáritó kialakítása.

A vibrációt létrehozó berendezések közül az elektromos megoldás egyértelműen kedvezőbb. Az amplitudó változtatása a torroidtranszformátor segítségével egyszerű. A mechanikus megoldás nagyobb energiát igényel, zajosabb, és nagy a meghibásodás valószínűsége. Az elektromos vibrátorok helyes rugóbeállítással, gumi alátámasztással minimális zajt idéznek elő.

Az ismerttetett száritók vibrátorainak maximális frekvenciája, mechanikus berendezésé 2800/min, elektromos készüléké 3000/min, a száritás folyamatánál jelentős hatásokat eredményez vizsgálataink alapján. Az is látható azonban, hogy a magasabb frekvencia az előnyös hatásokat minden valószínűség szerint tovább növelné.

- 3.. A mérési eredmények táblázatos összefoglalása és a száritás főparamétereinek grafikus ábrázolása.

A bemutatott berendezéseken az említett modellanya-
gokat száritottuk. Ezzel egyidőben mértük a száritást meghatározó paramétereket. A száritás körülményeit - mindenekelőtt a vibráció hatását - a nedvességtartalom csökkenésénél függvényében vizsgáltuk.

Gabonafélék vibrációs-konvekciós szárításánál adódott eredmények.

A kukoricánál és az árpánál végzett vizsgálatok a várakozásnak megfelelően közel azonos eredményhez vezettek, így a vizsgálat egy része a két anyagra közösen tárgyalható. A felvett adatokat egymással párhuzamosan említjük meg.

A mérésekhez használt anyagokat természetes nedvességükkel csak egy időszakban /az aratás idején/ tudtuk szárítani.

Más időszakban a mérésekről úgy gondoskodtunk, hogy az anyagot visszanedvesítéssel készítettük elő. A kukoricára és az árpára számított mennyiségű vizet permeteztünk, amelyet az anyag 24 óra alatt felvett. Előkészítéseinknél egységesen 48 órás állást alkalmaztunk. Méréseink azt mutatták, hogy az eredeti és a visszanedvesítéssel felvett nedvesség eltávolításánál a szárításnál alkalmazott vibrációs hatás tekintetében nincs különbség. A szárítási görbéken mérhető eltérés nem tapasztalható.

Az eredeti nedvességgel való mérést árpa esetében 10 %-ban, míg kukorica esetében 50 %-ban végeztünk. A kukorica betakarítása és morzsolása még b februárban is tartott, így módunkban állt friss kukorica beszerzése.

Az árpa és a kukorica szárítás előtti, és azt követő minőségvizsgálatát a MSZ 6372-66 és a MSZ 12540-67 szabványok alapján végeztük.

Méréseink zömét a vetőmagra vonatkozó paraméterek mellett végeztük, mivel a csiraképesség vizsgálat egyértelmű beltartalmi minősítést tesz lehetővé. Kiméletesebb szárítás mellett a paraméterek értékeit gyakorlatilag állandó értéken lehetett tartani. A mérések miatti szárítás megszakítások /5 percenként 25 másodperc/ kisebb zavart okoztak.

Az első méréssorozat a

$W = f / \nu$ / függvénykapcsolat vizsgálata volt,

ahol:

$W =$ a szárazanyagra vonatkoztatott nedvességtartalom %,

$\nu =$ a frekvencia és az amplitúdó szorzata
/L/τ cm/s/

A szakaszos vibrációs-konvekciós szárítóban a vibrációt 1490/min. fordulatszámú villanymotor 0,5 cm amplitudóval biztosította.

Ebben a méréssorozatban az amplitudót 0,1 - 0,5 cm-ig, a rétegvastagságot 2,0 cm-től 8,0 cm-ig változtattuk. A mért adatok azt mutatják, hogy a vibrációval, és anélkül felvett görbék gyakorlatilag egybeesnek. A vibráltatás eredményeként 5 perces előnyt tapasztaltunk a 0,5 cm-es amplitudóval szárított árpénál./15 %-os nedvességtartalomnál./

Ezt az eredményt a 0,5 cm-es amplitudóval végzett mérések 85 %-a mutatja, amelynek összefoglalását az 1. táblázat és a 6. ábra mutatja.

Kukorica esetében ennél a vibrációnál nem volt ki-mutatható különbség.

A rétegvastagság szerepe 20 - 80 mm-es intervallumban nem volt számottevő a nagy áramlási sebesség miatt.

A második méréssorozatot 2800/min. fordulatszámú frekvenciával 0,2-től 0,5 cm-ig változó amplitudóval végeztük. Az árpa és kukorica szárítása esetén a magasabb frekvencia egyaránt gyorsította a nedvességsökkenés sebességét. A szárítási idő csökkenése a max. 5 mm-es amplitudónál volt tapasztalható. A rétegvastagság hatása 20 -80 mm között ebben az esetben sem volt jelentős. Magasabb frekvencia alkalmazása esetén a szárítási idő csökkenése minden mérésünkénél egyértelműen tapasztalható volt. 2. 3. táblázat, ill. 7. ábra árpára, 8. ábra kukoricára vonatkozóan.

A nedvességsökkenés átlagos sebessége a vibráció következtében:

az árpa esetében 0,31 %/min.-ről 0,56 %/min.-ra,

a kukorica esetében 0,24 %/min.-ről 0,40 %/min.-ra változott arra az intervallumra számítva, amely a kezdeti nedvességtartalomtól 14 %-ig terjed.

A folytonos üzemi vibró-transzformátorral mozgatott konvekciós szárító berendezésen gyakorlatilag a szakaszos berendezésnél mért nedvességsökkenés sebességét kaptuk az árpára és kukoricára egyaránt.

Ezzel a berendezéssel azonban vibráció nélküli ellenőrző párhuzamos méréseket folytonos üzem mellett nem tudunk végezni. Vibráció nélküli méréseket csak szakaszos üzemeltetésnél lehetett volna eszközölni, mivel az anyag nem mozog.

A szállítócső beépítettsége miatt a súlycsökkenés mérését nem tudtuk megoldani.

Azonos nedvességtartalmu árpa és kukorica esetében összevetve a szakaszos berendezéssel és a folytonossal kapott szárítási eredményeket az adódik, hogy a folytonos készülék a vibráció előnyének további igazolására alkalmas, és egyben a fejlettebb technológia modelljét is jelenti.

A szakaszos berendezésen kukorica és árpa esetében kalorimetrián mérjük a felmelegedési sebességet nyugvó és vibrált állapotban. E méréssorozat a szemcsék által felvett hőenergia meghatározásán alapszik. Lényege, hogy ismert tömegű és fajhőjű szemcséket ismert mennyiségű és hőmérsékletű vízbe helyezünk. A szemcsék által felvett hőenergia azonos a víz által felvett hőenergiával.

Egyenlettel kifejezve:

$$Q_{sz} = Q_v = G_v c_{pv} / t_1 - t_2 / = G_{sz} c_{psz} / t_{sz} - t_1 /$$

ahol:

Q_{sz} = a szemcsék, Q_v = a víz által felvett hőenergia

G_{sz} = a szemcsék, G_v = a víz tömege

c_{psz} = a szemcsék, c_{pv} = a víz fajhője

t_1 = az összeöntést követő kiegyenlítődési
hőmérséklet

t_2 = a víz, ill. t_{sz} = a szemcsék átlagos hőmérséklete

a t_{sz} kiszámítható:

$$t_{sz} = \frac{Q_{sz}}{\bar{G}_{sz} C_{p_{sz}}} + t_1 \text{ képlettel.}$$

Ilyen módon a szemcsék felületén kialakult határréteg hőellenállását ill. hőátadási tényezőjét határozhatjuk meg nyugvó és vibráltatott viszonyok esetén, utalást kapunk a hőhasznosítás és a szemcsék felmelegedésének mértékére.

Az említett tényezők átlagos értékeket jelentenek. Különösen indokolt ennek hangsúlyozása a nyugvó szemcsék hőmérsékletére vonatkozóan, ahol nagymértékű helyi felmelegedés jön létre.

A nyugvóhalmaz esetében egyértelmű eredményeket csak akkor kaptunk, ha minden méréshez újból kezdtük a szárítást, és az egész cserényben lévő anyagot vízbe helyeztük. A vibráltatott szemcsék hőmérsékletének emelkedése egyenletes. Ezt igazolja az a tény, hogy a vibráció alkalmazásakor a mintavétellel és a cserény összes tartalmával mért kalorimetriás mérés azonos eredményhez vezet.

A kalorimetriásan mért felmelegedési adatokat a 4. 5. táblázat és a 9. 10 ábra tartalmazza árpára és kukoricára vonatkozóan.

1/a Táblázat

Á r p a

Rétegvastagság: 80 mm

Vibráció 1490/min. x 5 mm

$v_{\text{levegő}} = 3 \text{ m/sec.}$

Mérések száma	Nedvességtartalom %		τ min.	$\Delta\tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő}}$ $\frac{b_0}{c_0}$	$t_{\text{levegő}}$ $\frac{k_1}{c_0}$	Nedvesség- tartalom csökkenési sebesség szárazanyagra vonatkoztatva %/min.
	száraz- anyagra vonatkoz- tatva	teljes súlyra vonatkoz- tatva							
0	30,88	23,6	0	0	6000	0	76	37	0
1	26,70	21,1	5	5	5808	192	76,2	35	0,83
2	24,51	19,7	10	5	5682	126	76,2	37	0,64
3	21,72	17,8	15	5	5580	102	76,3	40	0,61
4	19,50	16,3	20	5	5478	102	76,2	41	0,52
5	17,81	15,1	25	5	5382	96	76,5	41	0,52
6	15,45	13,4	30	5	5292	90	76,5	42	0,51
7	12,57	11,2	40	10	5160	132	76,5	43	0,46
8	10,08	9,2	50	10	5046	114	76,0	44	0,42
9	8,24	7,6	60	10	4962	84	76,0	44	0,37

Vibráció nélkül

Mérések száma	Nedvességtartalom %		τ min.	$\Delta \tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő be}}$ °C	$t_{\text{levegő ki}}$ °C	Nedvességtar- talom csökke- nési sebesség száranyagra vonatkoztatva %/min.
	szár- anyagra vonatkoz- tatva	teljes sulyra vonatkoz- tatva							
0	30.88	23,6	0	0	6000	0	76,5	35	0
1	26.96	21.2	5	5	5820	180	76,3	37	0,78
2	23,96	19,3	10	5	5782	138	76,3	37	0.69
3	21.60	17,7	15	5	5574	108	76,2	37	0,62
4	19,37	16.2	20	5	5472	102	76,0	36	0.57
5	17,67	15.0	25	5	5394	78	76,0	36	0.53
6	15.84	13.6	30	5	5310	84	76,0	36	0.50
7	13,22	11.6	40	10	5190	120	76,0	36	0,44
8	11.12	10.0	50	10	5094	96	76,0	37	0,39
9	9,42	8.6	60	10	5016	78	76,0	40	0,35
10	7,85	7,3	70	10	4944	72	76,0	39	0,32
11	6,81	6,4	80	10	4896	48	76,0	40	0,30

2/a Táblázat
Á r p a

Rétegvastagság: 80 mm

Vibráció 2800/min. x 5 mm/s

$v_{\text{levegő}} = 3 \text{ m/sec}$

Mérések száma	Nedvességtartalom %		τ min.	$\Delta\tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő}}$ $\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	$t_{\text{levegő}}$ $\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	Nedvességtar- talom csökke- nési sebesség szárazanyagra vonatkoztatva $\frac{\%}{\text{min.}}$
	száraz- anyagra vonatkoz- tatva	teljes súlyra vonatkoz- tatva							
0	33,7	25,22	0	0	6000	0	75,5	33	0
1	29,03	22,50	5	5	5790	210	75,5	38	0,93
2	26,42	20,9	10	5	5670	120	75,5	49	0,73
3	23,68	19,10	15	5	5550	120	75,5	53	0,66
4	21,01	17,40	20	5	5430	120	75,8	45	0,63
5	19,00	16,0	25	5	5340	90	75,8	45	0,59
6	17,20	14,70	30	5	5255	85	76,0	45	0,56

2/b Táblázat/folytatás

Vibráció nélkül

Mérések száma	Nedvességtartalom %		τ min.	$\Delta\tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő}}$ be °C	$t_{\text{levegő}}$ ki °C	Nedvességtartalom csökkenési sebesség száraz anyagra vonatkoztatva %/min.
	száraz anyagra vonatkoztatva	teljes súlyra vonatkoztatva							
0	33,70	25,22	0	0	6000	0	75,5	41	0
1	31,57	24,00	5	5	5904	96	75,5	36	0,53
2	29,57	22,80	10	5	5814	90	75,5	38	0,41
3	27,57	21,60	15	5	5724	90	75,5	37,	0,40
4	25,69	20,40	20	5	5640	84	75,5	39	0,40
5	23,82	19,20	25	5	5556	84	75,5	39	0,39
6	22,48	18,40	30	5	5496	60	75,5	40	0,37
7	21,14	17,40	35	5	5436	60	75,5	40	0,35
8	19,94	16,60	40	5	5382	54	75,5	41	0,36
9	18,87	15,90	45	5	5334	48	76,0	44	0,33
10	17,80	15,10	50	5	5286	48	76,0	43	0,32
11	16,86	14,40	55	5	5044	42	76,0	44	0,31

3/a Táblázat
K u k o r i c a

Rétegvastagság: 80 mm

Vibráció 2800/min. x 5 mm/s

$v_{\text{levegő}} = 3 \text{ m/sec}$

Mérések száma	Nedvességtartalom %		τ min.	$\Delta\tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő}}$ be C	$t_{\text{levegő}}$ ki C	Nedvességtar- talom csökke- nési sebesség szárazanyagra vonatkoztatva %/min.
	száraz anyagra vonatkoz- tatva	teljes súlyra vonatkoz- tatva							
0	25,58	20,36	0	0	6000	0	76,5	36	0
1	23,07	18,70	5	5	5880	120	76,6	36	0,50
2	20,82	17,20	10	5	5773	107	76,6	38	0,47
3	19,30	16,20	15	5	5700	73	76,6	39	0,42
4	17,65	15,00	20	5	5623	77	76,7	40	0,40
5	15,88	13,70	25	5	5537	86	76,7	41	0,38
6	15,17	13,20	30	5	5503	34	77,0	42	0,34
7	14,01	12,30	35	5	5447	56	77,0	42	0,33
8	13,10	11,60	40	5	5404	43	76,5	40	0,31

3/e. Táblázat/folytatás

Vibráció nélkül

Mérések száma	Nedvességtartalom %		τ min.	$\Delta\tau$ min.	G g	ΔG g	t levegő be °C	t levegő ki °C	Nedvesség tartalom csökkenési sebesség szárazanyag ra vonatkoz- tatva %/min.
	száraz anyagra vonatkoz- tatva	teljes súlyra vonatkoz- tatva							
0	25,58	20,36	0	0	6000	0	76,2	40	0
1	24,24	19,50	5	5	5936	64	76,0	36	0,27
2	22,71	18,50	10	5	5863	73	76,0	37	0,28
3	21,37	17,60	15	5	5799	64	76,0	36	0,28
4	20,11	16,70	20	5	5739	60	76,2	37	0,27
5	18,94	15,90	25,	5	5683	56	76,2	38	0,26
6	17,88	15,20	30	5	5632	51	76,2	38	0,25
7	16,85	14,40	35	5	5585	47	76,1	38	0,24

4. Táblázat

Árpa felmelegedésének kalorimetriás mérési adatai.

Vibrációval: 2800 x 5 mm/s

$V_{\text{levegő}} = 3 \text{ m/s}$

$G_{\text{viz}} = 1497 \text{ g}$

Mérések száma	τ min.	$\Delta \tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő}}$ be $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{levegő}}$ ki $^{\circ}\text{C}$	t_{viz} max. $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{viz+árpa}}$ max. $^{\circ}\text{C}$	Δt_{viz} $^{\circ}\text{C}$
1	0	0	1497	0			22	22	0
2	5	5	1497	28	76	30	22	24,0	2,0
3	10	5	1497	52	76	30	22	25,6	3,6
4	15	5	1497	82	76	32	22	26,4	4,4
5	20	5	1497	110	76	35	22	27,6	5,6
6	25	5	1497	142	76	37	22	28,2	6,2
7	30	5	1497	210	76	42	22	29,0	7,0
Vibráció nélkül									
1	0	0	1497	0			22	22	0
2	10	10	1497	5	76	34	22	23,8	1,8
3	20	10	1497	15	76	34	22	25	3,0
4	30	10	1497	17	76	34	22	26,2	4,2

5. Táblázat

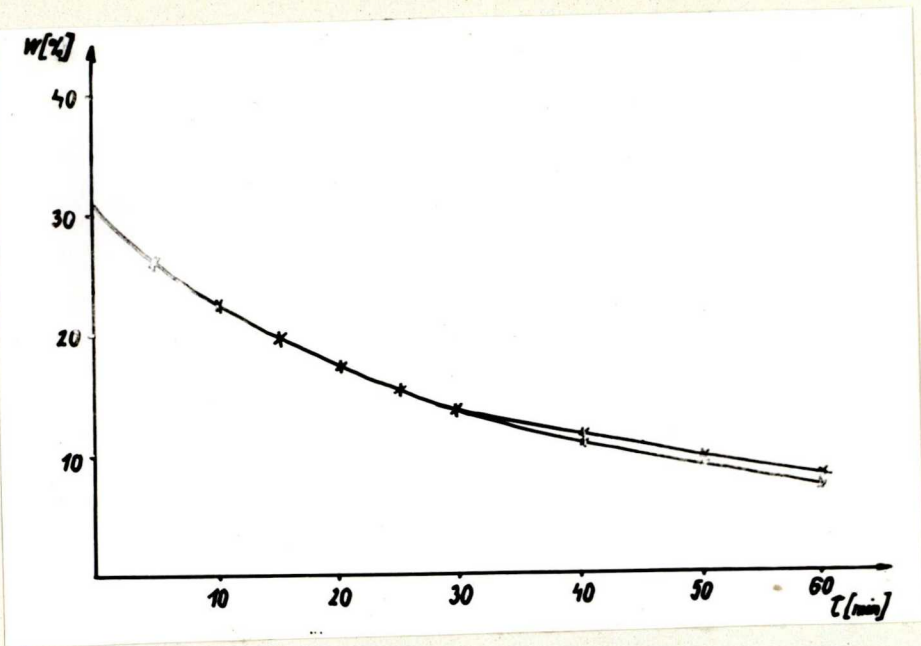
Kukorica felmelegedésének kalorimetriás mérési adatai.

Vibrációval: 2800 x 5 mm/s

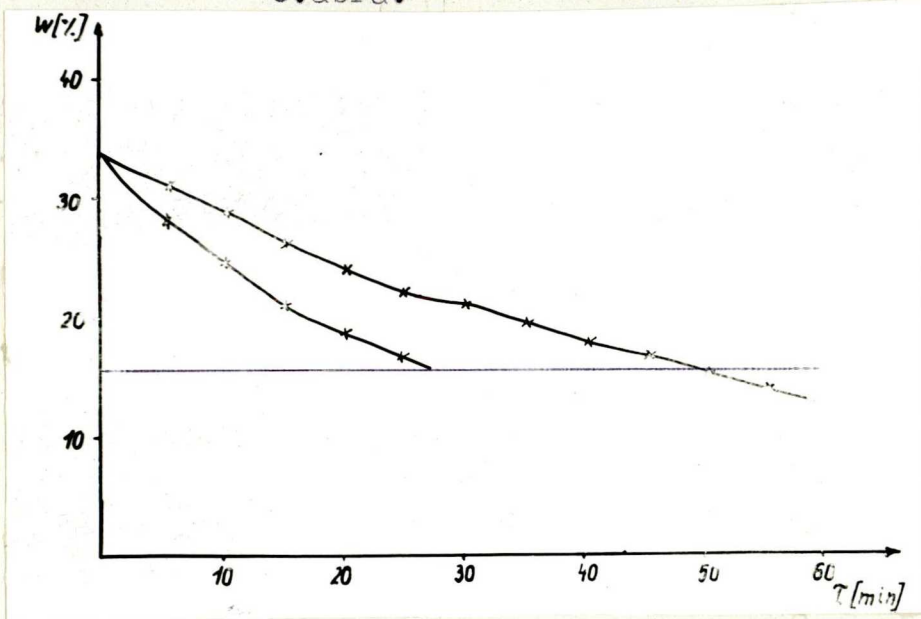
$v_{\text{levegő}} = 3 \text{ m/s}$

$G_{\text{viz}} = 1500 \text{ g}$

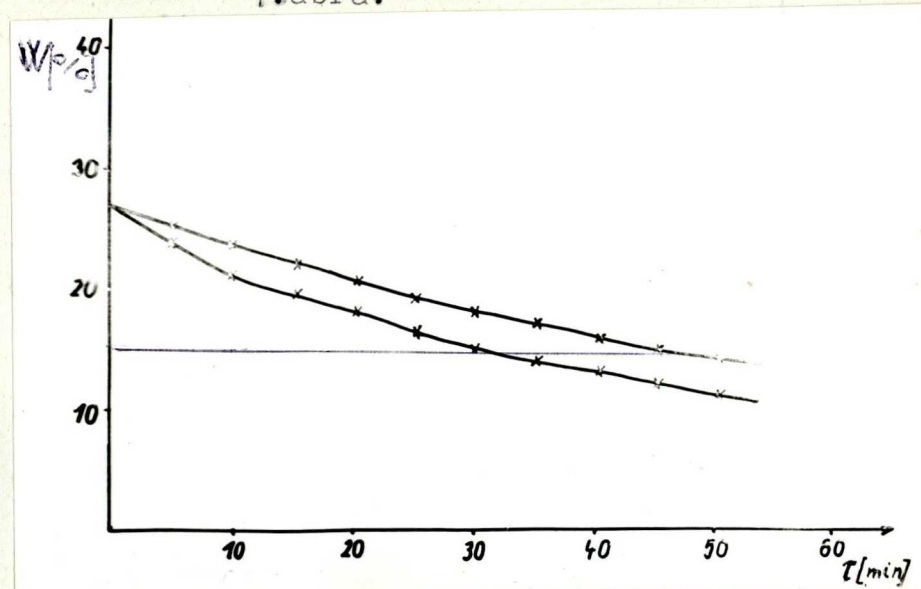
Mérések száma	τ min	$\Delta\tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő}}$ be °C	$t_{\text{levegő}}$ ki °C	t_{viz} max °C	$t_{\text{viz+kukorica}}$ max °C	Δt_{viz} °C
1	0	0	1500		76		22	21,0	- 1,0
2	5	5	1500	36	76	36	22	22,7	0,7
3	10	5	1500	56	76	37	22	24,0	2,0
4	15	5	1500	75	76	39	22	25,8	3,8
5	20	5	1500	96	76	40	22	26,8	4,8
6	25	5	1500	115	76	40	22	27,3	5,3
Vibráció nélkül									
1	0	0	1500		75		22	20,8	- 1,2
2	5	5	1500	5	75	34	22	22,2	0,2
3	10	5	1500	17	75	29	22	23,5	1,5
4	15	5	1500	27	76	30	22	24,7	2,7
5	20	5	1500	29	76	31	22	25,5	3,5
6	25	5	1500	45	76	32	22	26,8	4,8



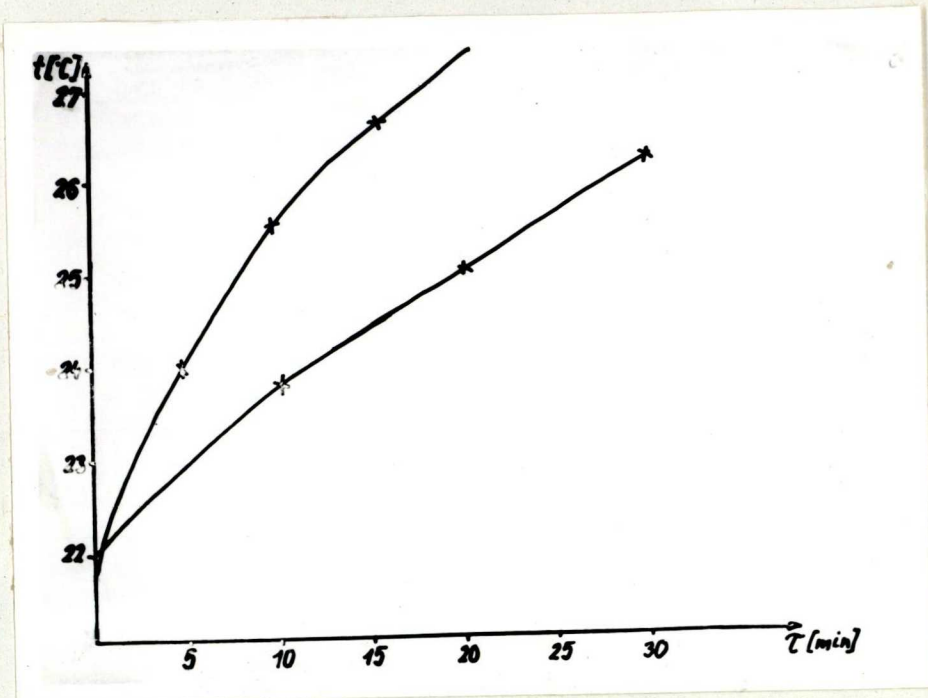
6. ábra.



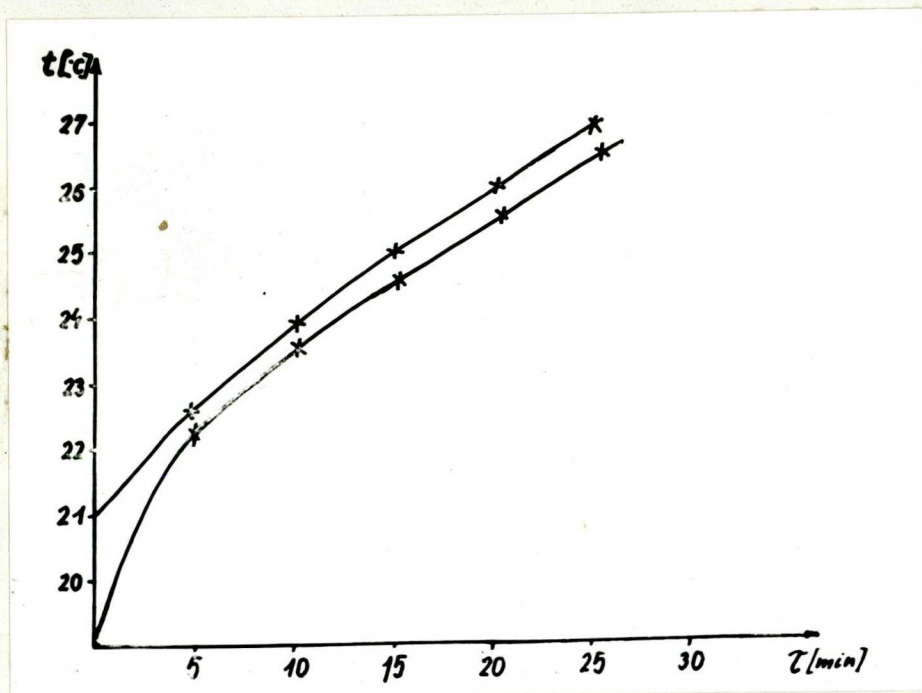
7. ábra.



8. ábra.



9. ábra.



10. ábra.

Husfélék vibrációs-konvekciós szárításánál adódott eredmények.

A marhahúst és a baromfihúst az előkészítés után a szakaszos vibrációs-konvekciós berendezésben szárítottuk /3. ábra/. Az előkészítést 13 mm átmérőjű lyukazatu tárcsával felszerelt csigás aprítóval végeztük. A főzést 2 : 1 viz-hus arányban 80 C° hőmérsékleten a marhahúst 40 percig a baromfihúst 20 percig eszközöltük.

Az előkészített főtt hus melegen magas felületi nedvességgel kerül a szárítóba.

A 13 mm-es lyukazatu tárcsával felszerelt csigás vágógépen aprított hus szemcsézete ill. darabossága heterogén, a szárító tálcákon aránylag tömör réteget képez.

A kétféle húst a gabonafélék szárításánál említettékhez hasonlóan vibrációval és anélkül szárítottuk, minden egyéb körülményt azonos értéken tartottunk.

A párhuzamos mérések azt igazolták, hogy a kereskedelemben vásárolható marhahús és tyukhús /amely minden valószínűség szerint, az időben elhuzódó és többszöri vásárlás miatt eltérő koru, fajtájú, takarmányozásu stb állattól származott/ szárítás tekintetében, a vibrációs hatás szempontjából azonosnak tekinthető.

A marhahús és a fagyasztott tyukhús szárítási méréssorozatának eredményeit a 6. és a 7. táblázatban és a 11 és 12 ábrákon foglaltuk össze.

A nedvességcsökkenés átlagos sebessége a vibráció következtében marhahus esetében 0,81 %/min.-ről 3,60 %/min.-ra, baromfi-hus esetében 1,94 %/min.-ről 3,70 %/min.-ra változott.

A vibráltatva szárított hus küllemét tekintve jelentősen eltér a nyugvó állapotban szárított hustól, ugyanis a vibráltatás eredményeként a hus szemcséinek felülete sima, gömbölyített, kavicsra emlékeztető alakot vesz fel.

A vibráltatva szárított husnak gyakorlatilag nincs pora, ahogyan ez a nyugvó állapotban szárított husnál tapasztalható, amelynek felületéről a kisebb részek tulszáradnak és letöredeznek.

Tekintettel a kisebb gyakorlati jelentőségre és a lényegesen nagyobb kísérleti költségre, a hus-félék szárítására vonatkozó méréseinket nem folytattuk.

6/a. Táblázat
Marhahus

Vibráció 2800 x 5 mm/s

$v_{\text{levegő}} = 3 \text{ m/s}$

Mérések száma	Nedvességtartalom %		τ min.	$\Delta\tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő}}$ be C°	$t_{\text{levegő}}$ ki C°	Nedvesség tartalom csökkenés sebesség száraz- nyagra vo- natkoztatva %/min.
	száraz anyagra	teljes sulyra							
1	185	65,9	0	0	2000		76,0	58,0	0
2	136	57,6	10	10	1659	341	76,5	58,0	6,90
3	100	50,0	20	10	1318	341	76,5	58,5	6,35
4	75,6	43,1	30	10	1078	240	76,0	58,0	5,78
5	51,5	34,0	40	10	930	148	76,0	58,0	5,36
6	33,3	25,0	50	10	819	111	76,0	59,5	4,97
7	24,2	19,2	60	10	764	56	75,5	59,5	4,56
8	17,5	14,5	70	10	708	56	75,5	59,5	4,21
9	15,7	13,6	80	10	652	56	70,0	55,0	3,86
10	13,2	9,8	90	10	616	36	75,0	57,0	3,59
11	9,1	8,3	100	10	580	36	76,0	57,0	1,75

6/ Táblázat /folytatás/

Vibráció nélkül.

Mérések száma	Nedvességtartalom %		τ min.	$\Delta \tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő be}}$ C°	$t_{\text{levegő ki}}$ C°	Nedvességtar- talom csökke- nés sebesség szárazanyagra vonatkoztatva %/min.
	száraz anyagra	teljes sulyra							
1	150,2	60.1	0	0	2000	0	76,5	0	0
2	130.1	56.5	10	10	1839	161	76,5	34	2,01
3	116.0	53,7	20	10	1726	113	76,5	34	1.71
4	104.0	51.0	30	10	1629	97	76,5	33,5	1.51
5	90.9	47,6	40	10	1516	113	77.0	33	1.48
6	79.7	44,3	50	10	1435	81	76.5	33,5	1,41
7	69.9	41.0	60	10	1354	81	76,5	33,5	1.34
8	59.9	37,4	70	10	1273	81	76,5	34,0	1.29
9	52,5	34,4	80	10	1214	59	76,5	34,0	1.16
10	45,4	31.2	90	10	1155	59	76,5	34,0	1,11
11	38.4	29,7	100	10	1113	42	76,5	34.0	1.06
12	33,3	25.0	110	10	971	42	76,5	34,5	1.01
13	28.3	22,1	120	10	940	31	77.0	36.0	0.98
14	24,2	19.5	130	10	909	31	77.0	36.0	0.92
15	21.0	17.3	140	10	886	23	77.0	35.0	0.89
16	17.1	14.6	150	10	863	23	77.0	36.0	0.85
17	14.2	12.4	160	10	840	23	77.0	37.0	0.83
18	11.1	10.0	170	10	817	23	77.0	35.0	0.81

7. Táblázat
Fagyasztott tyukhus

Vibráció: 2800 x 5 mm/s

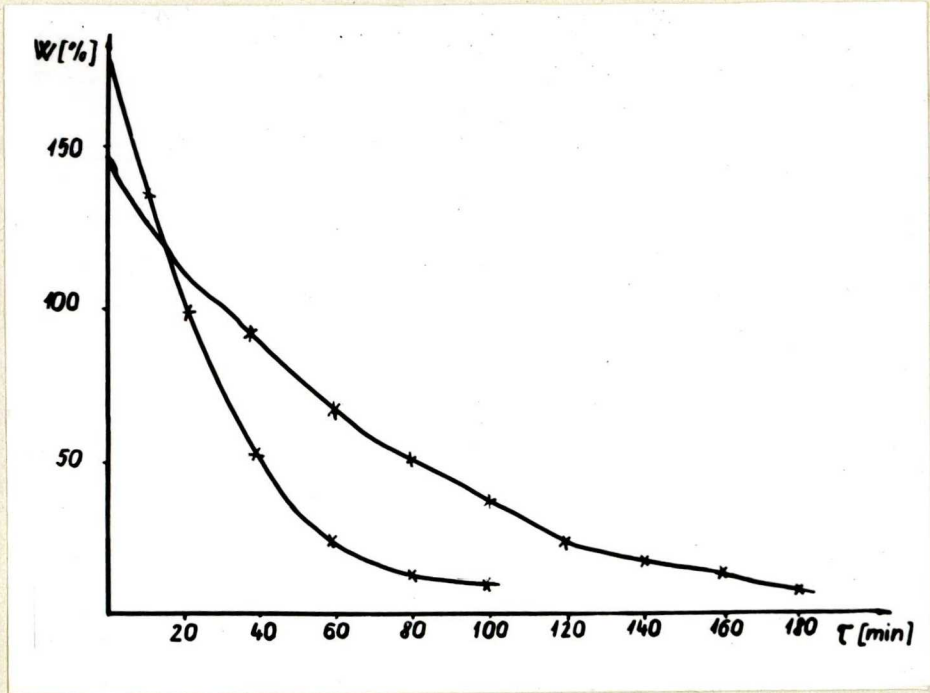
$v_{\text{levegő}} = 3 \text{ m/s}$

Mérések száma	Nedvességtartalom %		τ min.	$\Delta \tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő}}$ °C	$t_{\text{levegő}}$ °C	Nedvességtartalom csökkenési sebes- ség szárazanyag- ra vonatkoztatva %/min.
	száraz anyagra	teljes sulyra							
1	306,2	75,4	0	0	2000	0	78,0	56	0
2	181,2	64,5	10	10	1560	440	79,0	57	13,50
3	118,7	54,3	20	10	1290	270	78,0	56	11,10
4	81,2	44,8	30	10	1100	190	78,0	56	9,37
5	56,2	36,0	40	10	1000	100	78,0	56	8,07
6	40,6	28,9	50	10	911	89	77,5	54	7,09
7	28,1	21,9	60	10	822	89	77,5	57	6,96
8	15,6	13,5	70	10	755	67	77,5	57	5,76
9	6,2	5,8	80	10	711	44	77,5	57	3,70

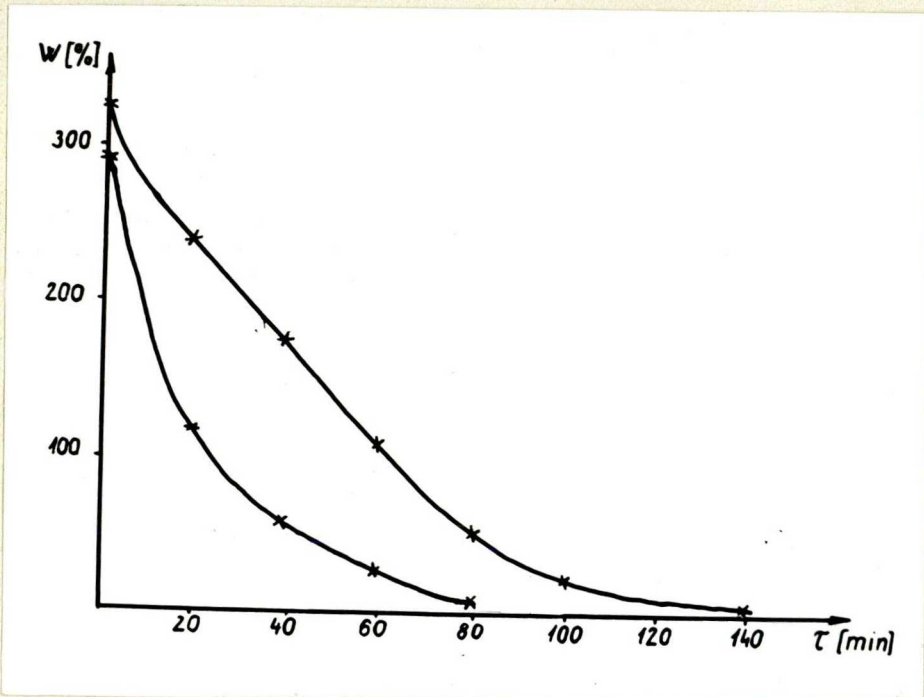
7/ táblázat /folytatás/
6.

vibráció nélkül

Mérések száma	Nedvességtartalom %		τ min.	$\Delta \tau$ min.	G g	ΔG g	$t_{\text{levegő be}}^{\text{C}^{\circ}}$	$t_{\text{levegő ki}}^{\text{C}^{\circ}}$	Nedvességtartalom csökkenési sebesség száraz- anyagra vonatkoz- tatva. %/min.
	száraz anyagra	teljes sulyra							
1	315,7	75,9	0	0	2000	0	75,0	31,5	0
2	270,7	73,0	10	10	1849	151	74,0	30,5	4,5
3	242,7	70,8	20	10	1698	151	74,0	30,5	3,65
4	214,6	68,2	30	10	1517	181	74,0	30,5	3,37
5	180,9	64,4	40	10	1366	151	76,5	35,0	3,26
6	152,8	60,4	50	10	1215	151	77,0	36,0	3,37
7	113,5	53,2	60	10	1064	151	77,0	37,0	2,02
8	74,1	42,6	70	10	927	137	77,0	37,0	3,30
9	51,6	34,0	80	10	859	68	77,0	38,0	3,05
10	40,4	28,8	90	10	791	68	77,0	37,0	2,86
11	29,2	22,6	100	10	736	55	77,0	37,0	2,77
12	20,2	16,8	110	10	702	34	77,0	37,0	2,50
13	14,6	12,8	120	10	675	27	77,0	37,0	2,35
14	10,1	9,2	130	10	654	21	77,0	37,0	2,20
15	6,7	6,3	140	10	640	14	77,0	37,0	1,94



11. ábra.



12. ábra.

A golyós-vibrációs szárító mérési eredményei.

A berendezés újszerűségénél fogva az első kísérletek vízforralással ill. elpárolgotatással kezdődtek.

/5. ábra/

Célkitűzésül azoknak a legkedvezőbb paramétereknek a meghatározását választottuk, amelyek mellett a legnagyobb mennyiségű vizet lehetett elpárolgotatnunk. Elsődlegesnek tartottuk azoknak a paramétereknek a vizsgálatát, amelyek az újszerűségből adódnak, nevezetesen a vibráció, a golyók mennyisége és jellemzői, a vízszint magassága. Az olyan paramétereket, mint a vacuum és a fűtés hőmérséklete, víz esetében nem vizsgáltuk, ugyanis ezek szerepe számos szerző által közölt, [9, 10, 11, 12] gyakorlat által igazolt változásokat jelentenek.

A vízzel végzett kísérletek alapvető paramétere az azonos idő alatt elpárolgotatott víz mennyiség.

/ W / Méréseinket egységesen 620 Hgmm-es vacuumban és 65 C⁰-on, 10 perc időintervallumokra végeztük. A bemért vizet mindenesetben 65 C⁰-on öntöttük a készülékbe - a korábbiakban már említett állandósult viszonyok kialakulása után. Az előmelegítést a besűrítési technológiákban [13, 14] kedvezőbb készülék-kihasználás ill. teljesítmény növelés céljából tettük. Ilyen körülmények között a következő alapadatokat mértük 500 g víz esetében:

vibráció és golyó nélkül

45 g elpárolgás

vibrációval /3000x0,2 cm/ golyó nélkül	66 g	olpá- rolgás
vibráció nélkül, golyóval /A=1643 cm ² /	56 g	"

Vizzel a következő függvénykapcsolatokat vizsgáltuk meg:

$$\begin{aligned} W &= f / A / , \text{ ahol } A = \text{a golyók felülete} \\ W &= f / \nu / , \text{ ahol } \nu = \text{a vibráció} \\ W &= f / G / , \text{ ahol } G = \text{a bemért víz mennyisége} \end{aligned}$$

Ezek közül a legjellemzőbbeket a 8. és 9. táblázatban és a 13, 14 ábrákon mutatjuk be.

A vibrációt vibró-transzformátorral hálózatról biztosítottuk, ennek megfelelően az 50 periódusú váltóáram a frekvenciát állandóan 3000/min. értéken tartotta. Ebben az esetben a vibrációt az amplitudóval torroid-transzformátor segítségével változtattuk.

Kísérleteink arra utalnak, hogy az amplitudó növelése is jelentős hatást fejt ki, ahogyan ezt a 9. táblázat és 14. ábra mutatja.

A golyók felületét egyrészt a golyók számával, másrészt a golyók átmérőjével változtattuk. A golyók átmérőjét 15, 20 és 25 mm-es golyókkal, ill. ezek kombinációival vizsgáltuk. Ezzel új paraméter, a térkitöltés vagy porozitás hatását kaptuk meg. Tapasztalataink szerint víz esetében a porozitásnak a felület mellett a 0,4 és 0,6 közötti intervallumban a szerepe elhanyagolható.



8. Táblázat

Golyós-vibrációs szárító vizzel mért adatai

$W = f / A$ kapcsolatra

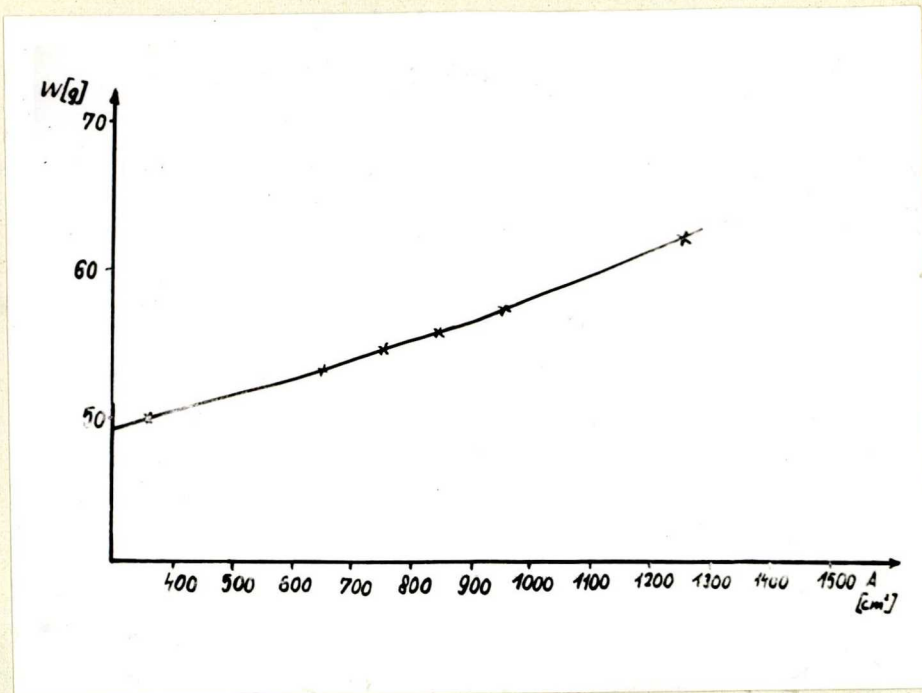
$\gamma = 3000 \times 2 \text{ mm/s}$ állandó vibráció esetén

τ perc	t °C fűtőviz $t_{be}-t_{ki}$	p Hgmm	G g	W g	$A_{golyók}$ cm ²
10	65- 61	620	200	50	353,250
10	65- 61	620	200	53,5	647,625
10	65- 61	620	200	54,0	745,750
10	65- 61	620	200	56,0	843,875
10	65- 61	620	200	57,0	949,850
10	65- 61	620	200	62,0	1251,290
10	65- 61	620	200	71.0	1643,790

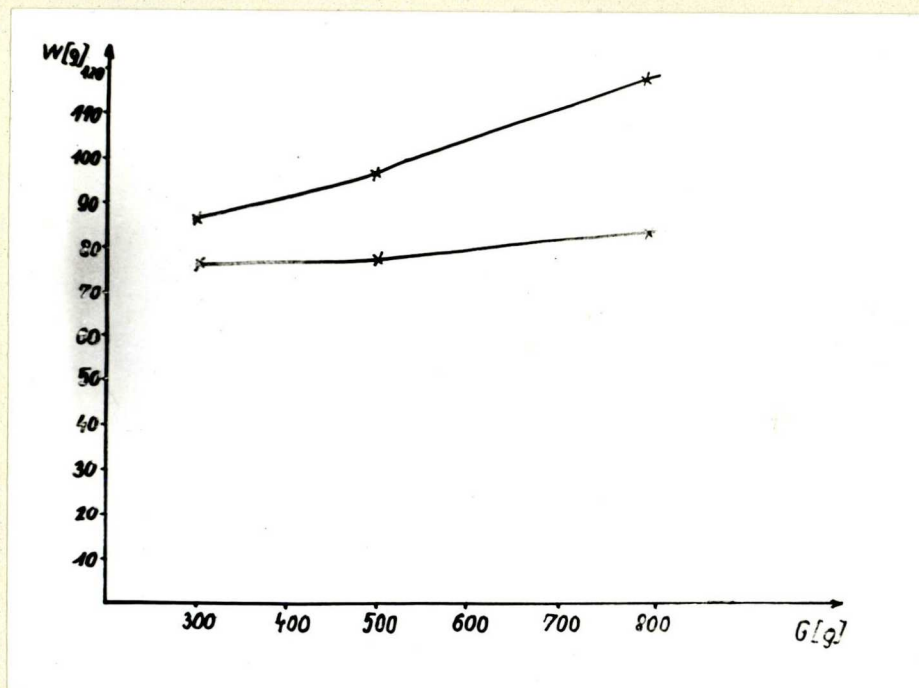
9. Táblázat
Golyós-vibrációs szárító vízzel mért adatai.

$W = f / G, \varnothing /$ kapcsolatra
Agolyók = 7342 cm² állandó érték

ΔT perc	t C° átáramlás $t_{el} - t_{ki}$	P Hgmm	G g	W g	$\varnothing$ 1/s x mm
10	65 - 61,5	620	300	75	3000*1
10	65 - 61,5	620	500	78	
10	65 - 61,5	620	600	80	
10	65 - 61,5	620	800	83	
10	65 - 61,5	620	300	85	3000*2
10	65 - 61,5	620	500	97	
10	65 - 61,5	620	800	117	



13. ábra.



14. ábra.

Tojás mélangé szárításának mérési eredményei.

Méréseinket megelőzően a tojás mélangé legkedvezőbb előkészítésének az 1 sec. időtartalmu homogenizálást és 50 C° hőmérsékletre való előmelegítést találtuk, amelyet egységesen alkalmaztunk. A homogenizálást szovjet gyártmányu háztartási robotgép turmix részével végeztük, az előmelegítést 80 C°-os vízfürdőben.

A mérések előtt a golyós szárítót az állandósult viszonyok kialakulásáig /30 min. 50 C°/ vízzel üzemeltettük, és azt követően helyeztük be az előkészített tojás mélangé-ot.

A tojás mélangé szárazanyagtartalmát 0 - 85 %-os méréshatáru kézi refraktómméterrel ellenőriztük. A 70 % feletti szárazanyagtartalom elérése után a viszkózus folyadékból a mintavételt egyértelműen nem tudtuk eszközölni, csak ± 3 % megközelítéssel. Ilyen állapotban már a tojás erősen heterogén, különösen a golyók felületén és a golyók közötti térben tapasztaltunk jelentős eltérést. A szárazanyagtartalom alakulását 70 %-tól vacuumszekrényben súlyállandóságig szárítással mértük.

A berendezésben a tojás sűrítését és az azt követő szárítást por állapotig 8 % maradék nedvességtartalomig végeztük.

A tojás anyagi tulajdonságaiból /erős habzás,

viszkozitás/ adódóan a vibrációs hatást a mindenkori állapotnak megfelelően alkalmaztuk, amelyet nagyszámu kísérletsorozat tapasztalatai alapján határoztunk meg.

A golyók felületét és porozitását, valamint a folyadékszintet jelentős paraméternek találtuk.

A legkedvezőbb viszonyokat akkor tapasztaltuk, ha az induláskor a folyadék félig töltötte meg a golyók közti teret. A golyók méretét tekintve a vegyes összeállítás, a 0,4-0,5 porozitás érték adódott kedvezőbbnek. Ugyanis a vibráció rendező hatása folytán a legkisebb golyók /15 mm/ alul, ezek felett a közepes méretűek /20 mm/ és legfelül a legnagyobbak /25 mm/ helyezkednek el. Az alul alhelyezkedő golyók a fűtött felületet jobban "takarták", mint a nagyobbak, így intenzívebb anyagmozgatást, keveredést eredményeztek. A szárítás későbbi fázisában, amikor az erősen viszkózus folyadék összeragasztotta a kisebb méretű golyókat, a felül elhelyezkedő nagyobb méretű golyók nagy erejű ütésekkel mozgatták azokat.

A szárítás első fázisában /az anyag még könnyen folyó/ a golyók felső rétegét a tojásló a vibráció következtében egységesen vonja be.

A második fázisban /az anyag már nehezen folyó/ a felső golyók felületére nem jut el a folyadék, ekkor a nagy golyó oszlopmagasság kedvezőtlen az alsó rétegek mozgatása, ill. vibrálása miatt,

Vacuum alkalmazása - hasonlóan az előbbi paraméterekhez - ugyancsak szabályozást igényelt. Az első percekben csökkentett vacuumot kellett alkalmaznunk.

Az említettek figyelembevételével összeállított berendezéssel következő vibráció és vacuumértéket találtuk a leghatékonyabbnak, amellyel a tojásport 30-40 perc alatt előállítottu:

az első 3-4 percben 3000-0,5 cm/s vibrációt alkalmaztunk, a vacuumértéke 580 Hgmm volt. A vibráció vagy a vacuumnövelés esetén a habzás olyan mértékűre növekedett, hogy a két paraméter értéket a hab elszívás megakadályozása végett csökkenteni kellett. Az átmeneti csökkentések a teljesítmény esését, azaz a szárítási idő növekedését eredményezték.

A szárítás további 5-6 percében a vacuumot fokozatosan maximumra növelhettük a habzás figyelemmel kísérése mellett. /700 Hgmm-nél magasabb vacuumot, a rendelkezésünkre álló vacuumszivattyu miatt nem tudtunk előállítani./A szabályozást egy közbeiktatott T csappal, levegő bevezetésével végeztük.

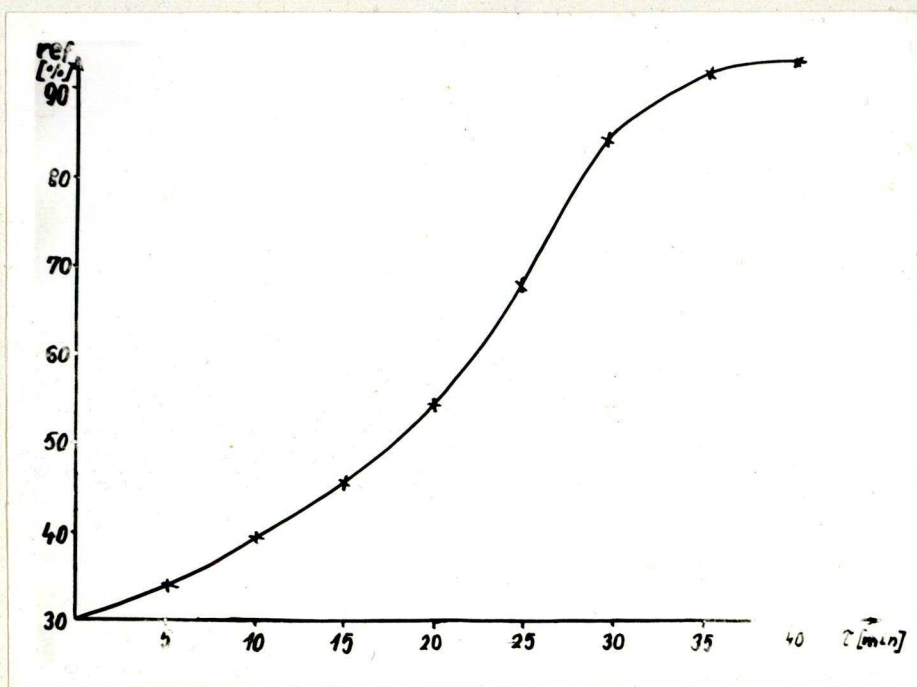
A maximális légritkitás elérése után a vibráció amplitudóját növeltük fokozatosan a rendelkezésünkre álló 0,2 cm-es legnagyobb értékig, amelyet a szárítás 7-8 percében értünk el. Ebben az állapotban tapasztaltuk a legintenzívebb vízpárolgást, a tojáslé az összes golyó felületét nedvesítette.

Az anyag vizskózus állapotában a szárítás 30-32. percében a golyókat a folyadék összeragasztotta és a vibráció ellenére gyakorlatilag mozdulatlanok maradtak. Ennek megakadályozására 3 perces további amplitudó növelésre volt szükség. A nagyobb amplitudót úgy érték el, hogy a szárítót a vibrátorhoz kötő csavart enyhén fellejtettük. Ennek hatására a golyók többsége közel 6-8 mm-es kiterjedésű rezgést végzett, amivel mozgásba hozták a többi összeragadt golyót, azokat ezáltal szétválasztva. A következő három perc alatt a szárítás előrehaladása olyan állapotot eredményez, hogy a rögzített állapotban elérhető 0,2 cm-es amplitudó alkalmazható, amelynek fenntartása mellett a tojáslé porrá őrlődve megszárad. A szárítási idő - kezdettől számítva 40-42 perc, a tojás por maradék nedvességtartalma 8,0 - 8,5 %.

A szárítás utolsó fázisában a golyók felületét a tojáslé bevonja, de már nem ragad. A további vízvesztés következtében törékeny réteggé alakul, amelyet a vibráció, az összeütközések leválasztanak, és a golyók között - a golyósmalomhoz hasonlóan - finom por alakjában felhalmozódik.

A golyós-vibrációs szárítóban a tojáspor előállításának a szárazanyagtartalom és az idő alakulását a 10. táblázatban és a 15. ábrán mutatjuk be.

Az anyag kihozattal kapcsolatos méréseink
8,0 - 8,5 % maradék nedvességtartalommal:
32 - 35 % a tojás mélange ref %-tól függően.



15. ábra.

10. Táblázat

Tojás szárításának adatai.

ref % = $f \sqrt{\tau}$

Bemérés : 187,5 g

$\Lambda_{\text{golyók}} = 2044 \text{ cm}^3$ 200 db 15 mm $\varnothing$
 20 " 20 mm $\varnothing$
 20 " 25 mm $\varnothing$

mérések száma	τ perc	$\Delta\tau$ perc	t °C <i>közé t_{ki}-t_{ki}</i>	p Hgmm	Ref %	Vibráció $1/3 \times \text{cm}$
1	5	5	50- 47	580	33	3000 x 0,05
2	10	5	50- 47	700	39	
3	15	5	50- 47	700	45	
4	20	5	50- 47	700	53	3000 x 0,2
5	25	5	50- 47	700	67	
6	30	5	50- 47	700	83	
7	35	5	50- 47	700	91	3000 x 0,8"
8	40	5	50- 47	700	94	
9	45	5	50- 47	700	95	

3.1 A főparaméterek csoportosítása.

E fejezetben a három legjelentősebb paramétert, a teljesítményt, a minőséget és a gazdaságosságot vizsgáljuk. Az értékelés alapját a saját az üzemi és az irodalmi adatok képezik. A következőkben a vibráció hatásaként adódó változásokat fejtjük ki.

3.1.1 Teljesítmény

A gabona és a húsfélők szárításának teljesítményváltozását legközvetlenebbül a szárítási idő alapján mérlegelhetjük. Árpa esetében a nyugvó állapotban mért idő gyakorlatilag megegyezik az üzemi szárítási idővel, amely 60 min.-nak adódott. Vibráció alkalmazásával ezt az időt 30 min.-nak találtuk. /2. táblázat/ Az 50 %-os időcsökkenés 10 % vízelvonásra vonatkozik.

Kukoricára vonatkozóan a szárítási idő 35 min.-ról 25min.-ra csökkent, 5 % vízvesztés esetén. /3. táblázat/ Ez 28,5 % időcsökkenésnek felel meg.

A vibrációból adódó teljesítménynövekedés a hazánkban használatos szárítóberendezésekre vonatkoztatva a 11 táblázat [8] figyelembevételével:

Kapacitás alakulása t/nap

Szárítógép típus	Árpa esetében		Kukorica esetében	
	vibráció nélkül	vibráció- val	vibráció nélkül	vibráció- val
Colman	140	280	220	307
ZsPzs	80	160	152	212
Heyd	70	140	110	154
Kenyeri	50	100	75	105
Farmer	20	40	28	39

11. Táblázat

Szárítógépek kapacitása

Me: tonna

Vizelvonás	Farmer		Kenyeri		H e y d		Colman		SzTSz		ZSzPZs	
%	óra	nap	óra	nap	óra	nap	óra	nap	óra	nap	óra	nap
3	1,33	32	3,58	86	5,41	130	10,83	260	10,83	260	8,75	210
4	1,25	30	3,33	80	5,0	120	10,00	240	10,00	240	7,50	180
5	1,16	28	3,12	75	4,58	110	9,16	220	9,16	220	6,33	152
6	1,08	26	2,91	70	4,16	100	8,33	200	8,33	200	5,41	130
7	1,00	24,5	2,66	64	3,83	92	7,66	184	7,66	184	4,66	112
8	0,96	23	2,41	58	3,50	84	7,00	168	7,00	168	4,16	100
9	0,89	21,5	2,25	54	3,20	77	6,41	154	6,41	154	3,75	90
10	0,83	20	2,08	50	2,91	70	5,83	140	5,83	140	3,33	80
11	0,77	18,5	1,91	46	2,62	63	5,25	126	5,25	126	3,08	74
12	0,66	16	1,75	42	2,37	57	4,75	114	4,75	114	2,83	68
13	0,62	15	1,58	38	2,12	51	4,25	102	4,25	102	2,50	60
14	0,56	13,5	1,41	34	1,95	47	3,91	94	3,91	94	2,20	53
15	0,50	12	1,25	30	1,75	42	3,50	84	3,50	84	2,00	48
16	0,45	11	1,12	27	1,60	38,5	3,20	77	3,20	77	1,83	44
17	0,41	10	1,04	25	1,50	36	3,00	72	3,00	72	1,70	41
18	0,37	9	0,97	23,5	1,43	34,5	2,87	69	2,87	69	1,62	39
19	0,35	8,5	0,91	22	1,35	32,5	2,70	65	2,70	65	1,50	36
20	0,33	8	0,83	20	1,31	31,5	2,62	63	2,62	63	1,41	34
21	0,32	7,7	0,79	19	1,27	30,5	2,54	61	2,54	61	1,33	32
22	0,31	7,5	0,75	18	1,22	29,5	2,45	59	2,45	59	1,25	30
23	0,30	7,3	0,70	17	1,18	28,5	2,37	57	2,37	57	1,20	29
24	0,29	7,2	0,66	16	1,16	28	2,33	56	2,33	56	1,16	28
25	0,28	7,0	0,62	15	1,14	27,5	2,29	55	2,29	55	1,12	27
26	0,27	6,9	0,58	14	1,12	27	2,25	54	2,25	54	1,08	26

Az ilyen módon számított - vibrációból adódó - teljesítménynövekedés az üzemi berendezésekben valószínűleg kisebbnek adódna, ugyanis a szárítóknál a szemcsék minimális mozgást végeznek, pl. zsaluzat működtetéssel szintről szintre zuhannak, egy szinten azonban nyugvóhalmazként 5 - 10 percig is tartózkodhatnak. Ebből a mozgásból adódó szárítási időcsökkenés a vibráció hatásához viszonyítva feltehetően nem jelentős. E kérdésben a végső válasz a nagyüzemi vibrációval kombinált szárítóktól várható.

A gabonafélék vibrációval kombinált szárításánál nyert mérési eredmények és tapasztalatok arra engednek következtetni, hogy a felmelegedés szakaszában a $2800 \times 5 \text{ mm/s}$ -nál nagyobb vibrációs hatás alkalmazása további teljesítmény növekedést eredményez.

A husfélék szárításánál a teljesítmény alakulása - a szárítási idő alapján a következőkben foglalható össze:

marhahusnál a teljesítmény 100 %-kal növekedett 10 % maradék nedvességtartalomra számítva. Baromfi-hus esetében 42 %-os növekedés tapasztalható, 6 % maradék nedvességtartalom esetében/6. és 7. táblázat/.

Az üzemekben a husfélék szárítását szakaszos berendezésekben végzik. Ebben az esetben kisebb a kiszámított teljesítménynövekedés, ugyanis a rövidebb szári-

tási időhöz több berakási és kirakási idő tartozik, miután ezek száma a vibrációtól származó rövidebb idő következtében megnövekedik.

A kísérletek tapasztalatai alapján a vibrációs hatás növelése a szárítási kezdeti szakaszában valószínűleg további teljesítménynövekedéshez vezetne.

A második szakaszban a vibrációs hatás növelése várhatóan nem előnyös, - a hus heterodiszperz és a száritmány törékeny tulajdonsága miatt.

A golyós-vibrációs szárító teljesítményének vizsgálatát egyrészt víz, másrészt tejás esetében végeztük.

A teljesítmény alakulásában döntően a vibráció játszik szerepet, ezt a vízzel mért alapadatok is igazolják. Ezek szerint a teljesítmény /vizelpárologtatás/ a vibrációs hatás következtében /3000 x 2 mm/s/, golyó nélkül 140 %-ra növekedett.

A golyók jelenléte csak vibráció vagy forrásban tartott folyadékok esetében okoz változást a teljesítmény területén. Ugyanis a forrás vagy vibráció következtében mozgásba hozott folyadék a folyadékszint feletti golyók felületét nedvesíti. Ezáltal a párolgási felület jelentősen növekedik, amely nagyobb teljesítményt eredményez.

A forrás és vibráció együttes hatása, a folyadék feletti golyók nagy felülete és a folyadékban lévő golyók

intenzív keverése együttesen a teljesítményt jelentősen növelik.

A teljesítmény további ugrásszerű növekedése várható a $/3000 \times 2 \text{ mm/s/}$ -nél nagyobb vibráció érték alkalmazása esetén. Erre utalnak azok a tájékoztató jellegű méréseink, amelyeket a $2800 \times 5 \text{ mm/s}$ vibrációs hatás mellett végeztünk.

Kedvezőbb fűtőtér kialakításától a teljesítmény további javulás várható. Nevezetesen tompított "félgömb" alakú fűtőtér és a golyók között vízszintesen, nagy térközzel beépített fűtőcsövek alkalmazása a hatásfokot növelné. Ezzel a fűtőfelületet a hasznos térfogat arányt javítanánk [9].

A tojáspor előállítás esetén a vízpárolgatatás - az összes szárítási idő átlagában nézve - a csak vízzel mért adatokhoz viszonyítva $1/3$ -ra csökkent. A kezdeti 10 perc és az utolsó 10 perc jelenti ezt az intervallumot, amelyben a vízpárolgás lényegesen csökken. A szárítás középső 20 percében a teljesítmény gyakorlatilag megegyezik a víznél mért adatokkal. A kezdeti 10 perc a habzás miatt a vacuum és vibráció értékre vételo miatt nem csökkenthető. Az utolsó 10 perc viszont két fokozatu kapcsolással feltehetően javítható. A két fokozatu elképzelés közel azonos elvet jelent a többfokozatu besűrítőknél alkalmazott megoldásokkal [9].

Az első fokozatban a hig levekre legkedvezőbb viszonyok megteremtésével /nagygolyófelület, magasabb hőmérséklet/ a 10. táblázatban megadott legintenzívebb elpárolgás is növelhető volna. A második fokozatban a nehezen folyó állapotban a porig szárítás legkedvezőbb feltételeivel fejeződne be a végső vizelvonás.

A golyós-vibrációs szárító teljesítményének növelését mindenekelőtt a magasabb vibrációs hatással /7000 x 4 mm/s/ és a vacuum maximális növelésével legcélszerűbb megvalósítanunk.

A vibráció, a vacuum, a vizelpárologtatásnál omitott fűtőfelület növelés és a két fokozat együttes alkalmazása, tehát négy tényező biztosítása, ill. kialakításának megvalósítása képezi minden valószínűség szerint a golyós-vibrációs szárító további teljesítményének növekedését.

3.1.2 Minőség

A minőség vizsgálatában elsődlegesnek a vibráció hatásából eredő változásokat tartottuk.

A gabonafélék esetében kimutatható minőségi különbséget a nyugvó és vibráltatva szárított termékek között nem találtunk.

Beltartalmi vizsgálat céljából - minden szárítási folyamatot követően - meghatározzuk a csirázóképességet [15].

A hőmérséklet a csirázóképeséget a vizardartalontól függően változtatja [16]. A hőhatás tekintetében a gabonafélék között a kukorica a legérzékenyebb, és az a vizardattalommal egyenesen vagy közel egyenesen arányos, pl. 40 % nedvességtartalmu kukorica 40°C hőmérsékleten a csirázóképeséget elvesziti, viszont 6 % nedvességtartalmu termék 80 °C hőmérsékletet 10 percig káros következmény nélkül kibirja [17].

Vibrációs szárításunk esetében kalorimetriás méréseink szerint - a kukorica szemek maximális hőmérséklete 55 °C-ra emelkedett a szárítás 35-40. percében, a nedvességtartalom viszont erre az időre 20 % alá csökkent.

Az árpa és a kukorica esetében mért csirázóképeség, gyakorlatilag minden párhuzamosra vonatkozóan a nyugvó és a vibráltatott szárításnál egyaránt azonosnak adódott. A csirázóképeség - a különböző beszállított tételektől függően - 95 - 99 % között ingadozott.

A csirázási orély vizsgálata sem mutatott olyan eredményt, amelyből a vibráció káros hatására lehetett volna következtetnünk.

A vibrációs szárítás - miután lényegesen rövidebb idő alatt megvalósítható - rövidebb ideig tartó hőkezelést jelent, ennél fogva kiméletesebb technológiát. Az ilyen uton kapott késztermék ugyanakkor biológiailag nagyobb értéket képvisel.

A húsfélék minőségének alakulását egyrészt érzékszervi vizsgálatokkal, az MSZ 12251-52 szerint, másrészt ¹⁹⁷⁰ a szakrendi szabványban előírt módszerekkel végeztük.

Az érzékszervi vizsgálat alapján eltérő tulajdonságokat a kétféle szárításból /vibrációval és anélkül/ származó termék esetén nem észleltünk.

A vízfelvelő és duzzadóképeség vizsgálat az MSZ 3607-53 - ol is azonos eredményekhez vezetett a marhahús és a tyukhús esetében egyaránt.

A fehérjetartalom meghatározás /MSZ 17619-54/ eredményei mindkét húsféleség esetében a gyugvó és vibráltatott párhuzamosai gyakorlatilag fedték egymást.

Az említett vizsgálatok azt mutatják, hogy a hús szárításánál alkalmazott vibráció nem okoz beltartalmi minőségváltozást.

A golyós-vibrációs szárítóban előállított tojáspor minősítését az MSZ 6827-52 szerint végeztük és ennek alapján a budafoki üzemben porlasztással előállított termékhez hasonlítottuk.

Saját előállítású tojásporunk szemcsézete kissé durvább, 0,056 mm nyílású szitán, a budafoki viszont 0,016 mm nyílású szitán marad fenn. A durvább szemcsézet - összehasonlítva a porlasztással készült porral - szemmel látható, tapintással érzékelhető. A budafoki tojáspor rendkívül finom, puder megjelenésű.

A két port érzékszervi vizsgálataink alapján állomány, iz és szag tekintetében azonos minőségűnek találtuk. A többi jellemzők értékei eltértek, amelynek mértékét az alábbiakban adjuk meg [MSz 6827-52] :

Jellemzők	Golyós-vibrációs szárítás esetén	Porlasztással szárításnál	Szabvány előírás	
			I.o.	II.o.
Oldhatóság %	76	82	85	70
Savasság T°	9	9,5	10	10
Hamutarta- lom %	4,6	3,4	3,5	4
Zsirtartalom %	32	38	35	35

A szabvány követelményei alapján az I. osztálynak egyik gyártmányu por sem felelt meg.

A golyós-vibrációs szárítóban előállított por oldhatósága és magas hamutartalma miatt, a porlasztva szárított termék oldhatósága miatt csak a másodosztályu követelményeket elégíti ki.

A golyós-vibrációs szárítóban előállított tojás-por minőségét javítanunk lehet a fűtési hőmérsékletnek 50 °C-ról 40 °C-ra való csökkentésével, és magasabb vacuum alkalmazásával, továbbá a fűtőfelület növelésével.

3.1.3 Gazdaságosság

A vibráció alkalmazásának gazdaságossága elemzésekor egyrészt azt a teljesítmény növekedést kell figyelembe vennünk, amelyet a korábbiakban leírtunk, másrészt azokat az üzemeltetési és beruházási költségeket, amelyek a vibráció fenntartásához és megvalósításához szükségesek.

Ebben az esetben feltételezzük, hogy a minőségben nincs változás, - a vibráció alkalmazásából adódóan, - amelyre már utaltunk.

A gabona és a husfélék szárítására alkalmazott berendezések jelentős többsége tálcás rendszerű [1, 2, 18, 25]. A tálcákon a szárítás különböző szakaszait valósítják meg. A szárítás egyes szakaszait megvizsgálva mérési eredményeinkből az tűnik ki, hogy a vibrációs hatás a szárítási idő első szakaszában a felmelegedés folyamatánál fejti ki előnyös hatását. Idevonatkozó eredményeinket a 2, 3, 4, 5, 6, és 7. táblázatokban foglaltuk össze.

A szárítás második szakaszában a nedvességsülkenés a nyugvó és a vibrált állapotokban közel azonos mértékben változik. Ebből az adódik, hogy a vibrációt elegendő a szárítás első felében alkalmaznunk. Gazdaságossági szempontból ez a tény az átalakítás és az új berendezés beállítása esetén egyaránt előnyt jelent.

A tálcás berendezések átalakításánál ez azt jelenti, hogy a felmelegítési szakaszt képviselő tálcákat célszerű vibráltatnunk. Ezt az elvet az új berendezések esetében is érvényesítenünk kell.

A vibrációt biztosító berendezés költségeinek vizsgálata: 500 kg anyagmennyiség mozgatására készült vibrótranszformátor ára: 10.000.- Ft. [19]
Az említett vibrátor fő mérete: 350 x 350 x 400 mm. Kis méretéből adódóan beszerelési költsége legfeljebb a vibrátor árával azonos. A legkisebb kapacitású Farmer-típusú szárító teljesítménye: 20 to/nap [8]. 1970-ben a Csongrádmegyei Gabonafelvásárló és Feldolgozó Vállalat átlagos szárítási költsége 14,98 Ft/q [20].

Az átlagos szárítási költség megoszlása:

Villamosenergia, gáz	1,86 Ft/q
Egyéb fűtőanyag	4,36 "
Egyéb anyag	0,12 "
Munkabér	1,64 "
Közteher, a munkabér 25 %-a	0,41 "
Értékesítkedés	1,88 "
Fenntartási költség	4,62 "
Egyéb költség	0,09 "

Összesen: 14.98 Ft/q

A vibrációs-szárítási méréseink ellenőrző párhuzamosát úgy végeztük, hogy minden körülményt változatlanul hagytunk. Az említett költségek - vibráció alkalmazása esetén - változatlanok maradtak, ill. a vibráció fenntartási költségével növekedtek.

500 kg-os vibrótranszformátor üzemeltetéséhez 3,5-4.0 kW teljesítmény szükséges. A Cs.m.-i üzemi átlagár 1.0 Ft /1 kW [20].

Figyelembe véve az árpa és kukorica esetében tapasztalt teljesítmény növekedést, azt összevetve és csökkentve 15 % biztonsággal, akkor a vibráció alkalmazásának 25 %-os átlagos teljesítmény növekedést tulajdoníthatunk.

A Farmer-típusú szárító 6 db tálcája közül az első kettő melegít, a harmadik és negyedik szárít, az utolsó két tálca hűt [18].

Az első két tálcára alkalmazva az említett 500 kg-os vibrátort és az összes költségeket vizsgálva, a következő adódik:

1 hónapos üzemeltetés 28000 - 30000 Ft nyereséget eredményez, amely a vibráció alkalmazásából adódik. Az 1 hónapos üzemeltetés tiszta nyeresége a beruházás összes költségét fedezi.

Megemlítjük, hogy 1970-ben Csongrádmegyében 33635 tonna gabonafélét szárítottak.

A golyós-vibrációs szárító gazdaságossági vizsgálatánál a porlasztva szárító kihozatali eredményéhez hasonlítva vontuk le a következtetéseket. Ugyanis egyéb vonatkozásban - miután teljesen újszerű berendezés - az első félüzemi kísérleti készülékről több tényező nyújt lehetőséget a teljesítmény és a minőség, ill.

az ezekből adódó gazdaságosság javítására.

A kihozatal a Budafoki tojáspor gyártó üzemben: 100 kg tojásléből /28-30 ref. %/ 22,7 kg tojáspor, amelynek nedvességtartalma 8-9 % [7]. A golyós-vibrációs berendezésünkkel végzett szárítási méréseink alapján, - amint már erre utaltunk - 100 kg tojáslére számítva 32 kg 8-9 % nedvességtartalmu tojáspor. A tojáspor kereskedelmi ára 126.0 Ft/kg [7].

A golyós-vibrációs szárítóban a szárazanyag veszteség minimális. A porlasztva szárítóknál egyrészt a levegő magasabb hőmérséklete, másrészt a porvesztesség okozza az alacsonyabb anyagkihozataalt. A finom szemcséjű tojáspor ülepítésére, és szűrésére ciklonokat, valamint textilszűrőket alkalmaznak. Ennek ellenére a porvesztesség a már előbbieknél említett adatok szerint és nem lehangolható mennyiség.

A golyós-vibrációs szárító gazdaságosságának teljesértékű összehasonlítása a porlasztva szárítókkal, csak üzemi méretek megvalósítása után várható. Jelenleg kivitelezés alatt áll - e dolgozat eredményeit hasznosító - üzemi vibrációs-golyós szárító, amelynek továbbfejlesztése e témakörben munkánk folytatását jelenti.

3.2 A hasonlósági kritériumok.

A vibrációs hatás vázolt eredményei felvetik az üzemi megvalósítás gondolatát. Ez részint a jelenleg üzemelő

szárítók átalakításával vagy új berendezések beállításával oldható meg.

Az átalakításra vonatkozóan két lehetőség kínálkozik, az egyik a berendezéseknek felmelegedést biztosító szakaszának vibrációsra átalakítása. A második lehetőség: önálló, teljesítmény tekintetében összehangolt vibrációs előszárítónak a meglévő berendezéshez csatlakoztatása. Ennek feladata lenne a szemcse egyenletes, gyors felmelegítése, ill. a felületi nedvesség egy részének eltávolítása. Bármelyik kivitelezést választjuk, az áramlás, a hőátadás és az anyagátadás vibrációból származó változásait figyelembe kell vennünk. Ennek alapját a félüzemi vibrációs-szárítás mérései képezik.

A témakör az átméretezés, modellezés területét érinti, amelynek az alapja a hasonlóság elmélet. A hasonlóság elmélet a geometriai és dinamikai hasonlóság feltételeiből indul ki. Ezeket szimplexekkel és dimenzió nélküli kritériumokkal írja le. Az átméretezés feltétele:

A megfelelő szimplexek és dimenzió nélküli kritériumok megegyezése a kis és nagyberendezés esetében.

Az általános dimenzió nélküli számok, amelyek az átméretezésnél számításba jönnek [26, 27, 28, 29,].

áramlás	$Re = \frac{dvS}{\eta}$	$Eu = \frac{\Delta p}{\rho^2 S}$	$Fr = \frac{v^2}{gL}$
hőátadás	$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}$	$Fo = \frac{a\tau}{L^2}$	$Pr = \frac{\eta c_p}{\lambda}$
anyagátadás	$Sc = \frac{\eta}{\rho D}$	$Sh = \frac{kL}{D}$	

Szemcsés anyagok jelenlétében, ill. azok halmazán átáramoltatva a közeget, az említett kritériumok a szemcsés anyag jellemzőivel módosítva alkalmazhatók. A módosítások alapját egyrészt a jellemző hosszúság, másrészt a porozitás, harmadrészt a tömegáram alkalmazása képezi.

A jellemző hosszúság szemcsés anyagok esetében az egyenértékű gömbátmérő, vagy a szemcsék közötti áramlási keresztmetszetet jellemző egyenértékű átmérő. A porozitás a hézagterfogat és az összes térfogat viszonyát jelenti. A tömegáramsebességet $/\text{kg}/\text{m}^2\text{h}/$ az átlagos áramlási sebesség helyett alkalmazzák szemcsés anyagok tárgyalásánál.

A vibráció, mint új hatás, figyelembevételére a vibrációs és a közeg átlagos áramlási sebességének viszonyából képezett szimplex kínálkozik alkalmasnak arra, hogy azt a kritériális egyenletekben, a hasonlóság leírásánál szerepeltessük.

$$\frac{\omega}{v} = \frac{\text{frekvencia} \times \text{amplitudó}}{\text{átlagos áramlási sebesség}} = \frac{1/\text{idő} \times \text{hossz}}{\text{hossz./idő}} = \frac{L/\tau}{L/\tau}$$

A vibráció ilyen formában dimenzió nélküli, ez többek között a vibrációval kombinált fluid szállítás és szárítás műveleténél nyújt előnyös lehetőséget a paraméterek, ill. a vibrációs hatás figyelembevételére. Ugyanis az utóbbi művelet esetében vibráció nélkül a közeg áramlási sebessége nem lehetett, viszont a közeg áramlásánélkül nem nyújt kellő hatást a vibráció. A két paraméter együttes hatása így e témakörben kiemelhető.

4. Diskusszió

Ebben a fejezetben a vibrációs szárítás további hasznosítási lehetőségeit, valamint az üzemeltetés alapvető folyamatainak behatóbb vizsgálatával, annak leírásával foglalkozunk.

4.1 A szárítási eljárások általánosítható vonásai.

Az általánosításra vonatkozó megállapításainkat a modell anyagok szárítási tapasztalatai és a különböző anyagok próbaszárításai alapján adjuk meg. A próbaszárítás három párhuzamos mérésből állt, így pontos, számszerű adatok közlése nem áll módunkban, viszont kvalitatív jelleggel a vibráció alkalmazhatóságára és szárítást gyorsító hatására egyértelmű választ kaptunk.

A vibrációs-konvekciós szárító esetében a 2800 x 5 mm-es vibrációs hatás alkalmazásával minden, szárításra behelyezett anyag rövidebb idő alatt veszítette el nedvességét, mint nyugvó állapotban.

A vibrációs hatásból eredő előnyt minden anyag esetében a szárítási idő első szakaszában tapasztaltuk. A Szárítás első szakaszában a hőátadási viszonyok kedvezőbb feltételei valósulnak meg, amely az anyagátadás intenzívebb körülményeit teremti meg.

A vibráció teljesítmény növelő hatásán túl az egyenletes felmelegedést is biztosítja. Az egyenletes felmelegítés a helyi túlhevülésből adódó károsodásokat kizárja.

A gabonafőlék esetében a szárítás paramétereit a következő alapvető tényező határozza meg. Ez a hőérzékenység, amely - amelyet már említettük - jelentős részben a nedvességtartalomtól függ. A szemesék felmelegítési sebességét ehhez a hőérzékenységhöz kell szabályoznunk. Az említett viszonyok minden egyes anyag esetében, tulajdonságaikból eredően meghatározott, maximális felmelegítési sebesség alkalmazására adnak lehetőséget. Az adott anyag szárításánál ehhez a maximumhoz tartozó szárítási paraméterek biztosítása jelenti a megvalósítható legnagyobb teljesítményt.

A berendezéseinkben alkalmazott 2800 x 5 mm/s vibrációs hatás, a leírt mérési viszonyainkra értelmezve közelítést jelent a legnagyobb teljesítményt meghatározó felmelegítési sebességhez. Ezen a téren a lehetőségek teljes kihasználását tovább növelt vibrációs hatás alkalma-

zása jelenti.

A gabonafélék közül búzával és rozssal végeztünk próbaszáritást. Méréseink alapján az árpa és a kukorica vibrációs szárításánál kapott előnyöket tapasztaltuk. Erre utalnak a csirázóképessegre vonatkozó vizsgálataink is.

A vibrációs-konvekciós berendezésben a zöldségfélék közül a hagymával és sárgarépával végeztünk próbaszáritást. A vibrációs hatás kisebb szárítási idő csökkenést eredményezett, amint azt a gabonafélék esetében tapasztaltuk. Az említett nedvdús anyagok vibrációs szárításával szemmel láthatóan egyenletesebb színű, nedveségtartalmu terméket nyertünk.

A golyós-vibrációs szárítóberendezés próbaszáritásai nem nyújtottak olyan egyértelmű eredményeket, mint ahogyan azt a vibrációs-konvekciós készülék esetében tapasztaltuk. Ennek egyik oka a bonyolultabb, több paraméterrel dolgozó berendezés. Ebből adódóan egyértelmű eredmény csak nagyszámu méréssorozattól várható. A másik ok az anyagi tulajdonságok jelentősebb eltéréséből adódik.

Általános vonásként a következő tapasztalatainkat említjük meg: minden anyag sűrítése, szárítása külön vacuum és vibrációs hatás programot igényel, hasonlóan a tojás esetében leírtakhoz. Minden anyag esetében a vizelpárologtatás középső időszakában mértük a legintenzívebb elpárologtatást.

A szárítás első 3-7 percében minden anyag esetében elértek a maximális 700 Hgmm-es vacuumot. Amennyiben valamilyen omnál fogva a szárítás további részében a vacuum több több percen át 700 Hgmm alá esett, /átmenetileg is/ a szárítási idő jelentősen növekedett, a termék minősége romlott. A berendezés az említettek miatt 700 Hgmm alatt gyakorlatilag nem üzemeltethető.

A golyók mennyisége és mérete ill. a különböző méretük aránya az a három tényező, amely a különböző anyagok esetében kedvezően befolyásolja a szárítást.

A szárítás végét a golyók megtisztulása jelzi, ugyanis a utolsó percekben a golyók felületére ragadt anyag elveszíti képlékenységet, törékennyé válik, és az ütődések következtében lehull. A fűtővíz hőmérsékletét az anyagi tulajdonságok szerint változtatni kell.

A próbaszárítások közül a legkidolgozottabb a kovászpör előállítás. A kovászpör alkalmazása korszerű sütőipari technológiát jelent [21]. A kovászpör kisebb munkaráfördítést, jobb és időben állandó minőségű kenyér előállítását eredményezi. A fajlagot /a 100 kg kenyér előállításához szükséges lisztmennyiséget/ 4-5 kg-mal csökkenti [22]. A szárításra kerülő kovász szárazanyagtartalma 6,5 %, nehezen önthető, tipikusan anomális folyadék. Szárítása még kevésbé megoldott.

A golyós-vibrációs szárítóban a kovászpört 60 °C hőmérsékleten, 65 perc alatt 150 db 25 mm átmérőjű

golyóval állítottuk elő. A hosszú szárítási időt a vibrációs hatás növelésével lehetett volna csökkenteni. A szárított termék 0,5 mm-es darabokat is tartalmazott.

A minősítés céljából végzett próbasütési vizsgálatok azt bizonyították, hogy a golyós-vibrációs szárítóban előállított por az összes irodalmi igényt kielégítette [23].

A berendezést, a nagyüzemi úton előállított fagylaltpor előállítására is sikeresen alkalmaztuk. Készülékünkben előállított fagylaltpor puder finomságú terméket eredményezett. Az üzemi vizsgálatok a fagylaltpor minőségét jónak találták [24].

Paradicsom sűrítmény és pasztörözött palackozott tej próbaszárításával is foglalkoztunk. Az említett anyagok porának minőségét nem vizsgáltuk, csupán az előállíthatóság lehetőségére tértünk ki. Az említett anyagok porait előállítottuk.

A próbaszárítások a vibrációs-konvekciós és a golyós-vibrációs szárítók esetében arra utalnak, hogy a várakozásnak megfelelően a berendezésekben - jelleük szerint - számos élelmiszeripari anyag és termék előállítható.

4.2 Optimális viszonyok

Ebben a fejezetben a szárítási folyamat hő és anyagátadási elméleti vonatkozásait, annak leírását vizsgáljuk. Ezeknek az ismereteknek a további fejlesztése, a gyakorlat által igazolt eredményekkel való egyeztetése közelebb visz bennünket azokhoz a keresett fizikai feltételekhez, amelyek a szárítás ideje alatt biológiai értéksökkenés nélkül a maximális teljesítményt, másszóval az optimális viszonyokat jelentik.

A vizsgálatokat gyakorlati jelentőségük miatt elsősorban a gabonafélékre végeztük el. Azokat a mérési eredményeket alkalmazzuk, amelyek az árpa és a kukorica felmelegedési sebességére vonatkoznak. Idevonatkozó eredményünket a 4. és az 5. táblázatban foglaltuk össze.

A hő és anyagátadást dimenzió nélküli kritériumok segítségével, ill. ezekből képzett empirikus és félempirikus egyenletek alkalmazásával vizsgáltuk. A módszer alkalmazását az indokolja, hogy a dimenzió nélküli kritériumok egyszerűsítik a matematikailag különösen bonyolult feladatot, másrészt a területen jelenleg egyedüli, gyakorlat számára hasznosítható leírást jelentenek. Módot nyújtanak az analógiából származó előnyök hasznosítására.

A vibrációs hatás vizsgálatából kitűnik, hogy előnye elsődlegesen a felmelegítés gyorsításában jelentkezik. Ebből adódóan a szárítási idő csökkenésében, különösen a hőátadásnak jut jelentős szerepe, amelyből az intenzívebb anyagátadás következik.

4.2.1 Hőátadás

A hőátadás vizsgálata alatt a gázból a szemcsék felületén képződött határréteg hőellenállásának számszerű alakulását, ennek meghatározását, ill. leírását értjük.

A hőátadási tényező $\alpha = \text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ értékének növekedésével a határréteg hőellenállása csökken, a hőcsere intenzívebb lefolyásúvá válik. A határréteg jelentős szerepe abból adódik, hogy a hő azon, vezetés útján jut át. Vezetés útján a hőcsere kevésbé intenzi, mint konvekcióval és a gázok hővezetési tényezője nagyságrendileg kisebb, mint a folyadékoké vagy a szilárd testeké [30].

Vizsgálatainkban a hőátadási tényezőt a felmelegedés mérési eredményei alapján - nyugvó és vibráltatott állapotban meghatároztuk, majd több szerző különböző esetekre javasolt Nusselt-típusú függvényét alkalmaztuk, majd összehasonlítottuk a mért és számított értékeket.

Ellenőriztük a különböző Nusselt függvények alkalmazhatóságát, ugyanis ezeket finom szemcséjű ásványi eredetű anyagok hőátadási tényezőjének meghatározására javasolják.

Számításainkat Cellatron márkájú, R 44 SM típusu, német gyártmányú számológéppel végeztük, amely az Élelmiszeripari Főiskola Matematika tanszékének tulajdona.

A hőátadási tényező meghatározására a már említett kalorimetriás módszert alkalmaztuk. A vízbe helyezett szemcsék

$$Q = G_2 c_{p2} / t_{sz} - t_{közös} / \text{hőmennyiséget adták le,}$$

ahol G_2 = a szemcsék tömege

c_{p2} = a szemcsék fajhője

t_{sz} = a szemcsék hőmérséklete behelyezéskor

$t_{közös}$ = a víz hőkiegyenlítődést követő hőmérséklete

A Q hőmennyiség számszerűen azonos a víz által felvett hőmennyiséggel.

A korábbi jelöléseket használva:

$$Q = G_{viz} c_p viz / t_{közös} - t_{kezdeti} /$$

A hőátadási tényező meghatározásához a hőátadás általános,

$$Q = k A \Delta t \tau \quad \text{egyenletének a}$$

$$Q = \alpha A \Delta t \tau \quad \text{alakját alkalmaztuk} \quad [1].$$

Ebből a hőátadási tényező:

$$\alpha = \frac{Q}{A \Delta t \tau}$$

ahol Q = a kalorimetriásan mért hőmennyiség

A = a szemcsék felülete

t = $t_{\text{levegő}} - t_{\text{szemcse kezdeti}}$

a $t_{\text{levegő}} = 0,5 / t_1 + t_2 /$

t_1 = a konvekciós szárítóba belépő

t_2 = a konvekciós szárítóból kilépő levegő
hőmérséklete

τ = a Q hőcseréhez tartozó idő.

A szemcsék felületét térfogat, darabszám és egyen-
értékű gömbátmérő alapján határozzuk meg.

Az így kapott eredmények:

árpa esetében $d_g = 1,78 \cdot 10^{-3} \text{ m},$

$A = 2,03 \text{ m}^2 / 1497 \text{ g/}$

kukorica esetében $d_g = 8,40 \cdot 10^{-3} \text{ m},$

$A = 1,06 \text{ m}^2 / 1500 \text{ g/}$

amelyeket számításainknál alkalmaztunk.

A vázolt módon meghatározott hőátadási tényező
nem teljes értékű. Átlagos értéknek fogható fel, külön-
ösen nyugvó halmazok esetében indokolt ennek hangsúlyo-
zása.

A hibaforrások többek között a felület meghatározásból, a szemcsék külső és belső rétegeinek eltérő anyagi tulajdonságaiból, hőveszteségből stb. adódnak. Ennek ellenére jelenleg az egyetlen - gyakorlati értékű eredményeket nyújtó - eljárást jelenti. Ugyanis a hibák egyenletes, állandó értékű torzítást okoznak, így különböző feltételek összehasonlítására alkalmasak.

Számításba vehető másik módszer a szemcsehőmérséklet mérésére a szemcsék belsejébe épített termoelemek alkalmazása.

Ez az eljárás a vezeték zavaró hatása, továbbá a kiszámu mérési hely, a termoelemek beépítéséből adódó hibák miatt stb. kevésbé megbízható eredményeket nyújt [32].

Az ismerttetett gondolatmenettel a 4. és 5. táblázat adatainak felhasználásával - a következő hőátadási tényező értékeket kaptuk:

Árpa esetében:

vibrációval Kcal/m ² h°C					vibráció nélkül Kcal/m ² h°C			
α_1	α_2	α_3	α_4	$\alpha_{\text{át-lag}}$	α_1	α_2	α_3	$\alpha_{\text{át-lag}}$
0,87	0,78	0,52	0,42	0,64	0,36	0,30	0,30	0,32

Kukorica esetében:

Vibrációval Kcal/m ² h°C					Vibráció nélkül Kcal/m ² h°C				
α_1	α_2	α_3	α_4	$\alpha_{\text{át-lag}}$	α_1	α_2	α_3	α_4	$\alpha_{\text{át-lag}}$
0,65	0,85	0,80	0,36	0,66	0,38	0,44	0,43	0,23	0,37

Az növekvő indexe a szárítási idő növekedésével arányos.

Az így meghatározott hőátadási tényezőket megkíséreltük a Nusselt függvényekkel előállítani.

A nyugvó halmazokra - merőleges áramlásra - specifikus adatok hiánya esetén, Treybal [1] közelítő számításokra ajánlja.

$$\alpha = 0,37 G^{0,37} \text{ egyenletet, ahol}$$

$$G = \text{a levegő tömegsebessége kg/m}^2\text{h}$$

Az egyenlettel 11,73 Kcal/m²h°C értéket kaptunk, ez mindkét anyagra azonos, mert az egyenlet csak a tömegsebességet veszi figyelembe.

A vibrált szemcsék hőátadásának leírására olyan Nusselt függvényeket próbáltunk ki, amelyeket a szerzők fluidizált halmazokra javasolnak.

A vizsgált függvények:

$$\text{I.} \quad \alpha = 0,0063 \frac{\lambda}{d_e} / \frac{d_e G}{\eta} /^{1,8} \quad [32]$$

$$\text{II.} \quad \alpha = 0,0135 \frac{\lambda}{d_e} / \frac{d_e G}{\eta} /^{1,3} \quad [33]$$

$$\text{III.} \quad \alpha = 1,31 / \frac{d_e G}{\eta} /^{0,76} \quad [34]$$

$$\text{IV.} \quad \alpha = 0,0028 \frac{\lambda}{d_e} / \frac{d_e G}{\eta} /^{1,7} \quad [35]$$

A λ a levegő hővezetési tényezője, η a levegő dinamikai viszkozitása, a G a levegő tömegsebessége, d_e a szemcsék egyenértékű gömbátmérője.

Az említett egyenletek a szárítási körülményeinknek megfelelő paraméterekkel a következő eredményekhez vezettek:

A függvények száma	α Árpa Kcal/m ² h°C	α Kukorica Kcal/m ² h°C
I.	2,24 · 10 ⁴	1,22 · 10 ²
II.	2,85 · 10 ²	2,27 · 10
III.	9,55 · 10	8,04 · 10
IV.	5,66 · 10 ²	3,33 · 10

Az eredményekből az tűnik ki, hogy a finomszemcséjű / 1 mm alatt / anyagok fluidizált halmazára javasolt

Nusselt függvények a durvaszemcsék vibráltatott halmazára nem alkalmazhatók. A jelentős eltérések leginkább abból adódnak, hogy a fluidizációnál a szemcsék mozgását egyedül a közeg végzi, amely csak nagyobb áramlási sebesség mellett valósítható meg.

A nagyobb sebességekhez nagyobb hőátadási tényező értékek tartoznak, erre utalnak a számított eredmények is. További eltérést okoz az a tény is, hogy a felület a finomszemcsék esetében lényegesen nagyobb.

A vibráltatott halmazokra érvényes Nusselt függvényekben a vibrációs hatását is figyelembe kell vennünk. Célszerű dimenzió nélkül, a már említett

$\sqrt{\nu}$ alakban szerepeltetnünk.

Kísérletet tettünk a IV. Nusselt függvény módosítására:

$$\alpha = 0,0028 \frac{\lambda}{d_e} / \frac{d_e G}{\eta}^{1,7} \cdot \frac{\sqrt{\nu}}{v}^X$$

alakú egyenlettel, amelyben X-et mint korrekciós faktort számítottuk a vibráltatott árpa és kukorica szárításának körülményeire.

Az X értéke árpára - 4,4-nek, kukoricára - 5,8 nak adódott. Az így nyert hatványkitevővel módosított Nusselt függvény csak egyetlen vibrációs szárítási körülményre igazolt. Érvényességi hatósugarának megállapítására e témakör folytatásaként intézetünkben méréseket végzünk.

4.2.2 Anyagátadás

A vibrációs-konvekciós szárítás anyagátadásának intenzitásnövekedését a hőhatás kedvezőbbé válásának következményeként tekintjük.

Az anyagátadási viszonyok vibrációból adódó változását a hőátadásra érvényes összefüggések segítségével jellemezzük. Erre az eljárásra a hő és anyagátadás között fennálló analógia ad lehetőséget.

Az analógiának a következő formáját alkalmazzuk [1]:

$$j_H = \frac{\alpha}{c_p G} P_r^{2/3} = j_D = \frac{k}{G_s} Sc^{2/3}$$

ahol: j_H a hő, j_D az anyagátadási viszonyokat jellemző faktor, α a hő, k az anyagátadási tényező, c_p a közeg fajhője, G a közeg tömegsebessége, G_s a száraz közeg tömegsebessége, Pr a Prandtl, Sc a Schmidt féle kritériumok.

Vizsgálatainkban a j_H faktort nyugvó és vibráltatott szárítási viszonyokra számítjuk. Az így előállított j_H faktor növekedés egyenlő az anyagátadási viszonyokat jellemző j_D faktor növekedésével

Számításainkból a következő eredményeket kaptuk:

	Árpa		Kukorica	
	nyugvó	vibráltatott	nyugvó	vibráltatott
j_D ill. j_H	$9,27 \cdot 10^{-5}$	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$1,07 \cdot 10^{-4}$	$1,91 \cdot 10^{-4}$

Összefoglalás

A vibrációs hatás technológiai alkalmazását elsődlegesen gazdaságossági megfontolásokból kiindulva vizsgáltuk. Az öt modellanyagon végzett vibrációs szárítás adataiból a következő megállapítások tehetők:

A vibráció alkalmazása jelentős szárítási időcsökkenést eredményez. Az egyenletes felmelegedés a biológiailag értékes anyagok megőrzése szempontjából kedvezőbb, és ez az intenzív hőkezelések esetében kerül előtérbe.

A vibráció alkalmazásával a fluidizáció különösen kedvező hő-, és anyagátadási feltételeit teremthetjük meg, és terjesztjük ki olyan anyagokra is, amelyek egyébként nem fluidizálhatók. Az élelmiszeriparban számos ilyen anyag található, pl. a húsfélék, amelyek vibrációs-konvekciós szárítását előnyösen megoldottuk.

Az anomális, viszkozus folyadékok sűrítésére és szárítására újszerű megoldású golyós-vibrációs berendezést terveztünk, és vizsgálataink alapján tojás sűrítésére és tojáspor előállítására alkalmasnak találtuk.

A gabonafélék vibrációs hatásból származó, gyorsabb felmelegedését kalorimetriásan mértük, az eredményekből hőátadási tényezőket határoztunk meg. A vibrációs hatás figyelembevételére dimenzió nélküli kifejezést javasolunk, amelyet a vibrált szemcsés halmazokra módosított Nusselt függvényben szerepeltettünk.

A dolgozattal összességében a vibrációs szárítás kiterjesztésére, kedvező gazdaságossági kihatásaira, és az így előállított termékek élelmezési és táplálkozástudományi értékmérőire teszünk utalást.

E helyen is hálás köszönetemet fejezem ki
Dr. Sipos György docensnek a kémiai tudományok
kandidátusának, témavezetőmnek, aki a mérések
megtervezésében és az eredmények értékelésében
igen odaadóan, nagymértékben segítségemre volt.

Lajos Gábor
okl. vegyész

Irodalom

- [1] Treybal, R.E.: Diffúziós vegyipari műveletek. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1961
- [2] Ginzburg, A.Sz.: Szárítás az élelmiszeriparban. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1968
- [3] Leva, M.: Fluidizáció. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1964
- [4] A Gabonatröszt Csm-i Vállalat technológiai utasításából. Szeged, 1970
- [5] Szegedi Paprikaipari Vállalat közlése alapján. 1970
- [6] Orel, V. A tojás és feldolgozása. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1960
- [7] A Budafoki Tojáspor-előállító Üzem közlése. 1970
- [8] A Gabonatröszt által kiadott kapacitásértékek.
/soksz./ Bp. 1970
- [9] Szenes, E.-né, Nadobár, P.: Besűrités az élelmiszeriparban. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1964
- [10] Kaszotkin, A.G.: Alapműveletek, gépek és készülékek a vegyiparban. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1956
- [11] Preisich, M.: Vegyészek zsebkönyve. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1963
- [12] Kertész, A.: Ipari bepárlás. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1968
- [13] Veres, J.: Konzervtechnológia. /soksz./ 1967
- [14] Vigh, A.: Cukoripari technológia I-II. /soksz./ 1968

- [15] Láng, G.: A növénytermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Bp. 1966
- [16] Jánossi, A., Komlóssy, Gy., Morácz, S., Toroczi, H.: Magyar kukoricafélék és termesztésük. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Bp. 1957
- [17] Tomai, T.: Gabonaipari kézikönyv. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Bp. 1970
- [18] Kresz, O.: Száritási technológia. /soksz./ 1968
- [19] Szegedi Konzervgyár közlése. 1970
- [20] A Gabonatröszt Csm-i Vállalata 1970. évi Információ című kimutatása /zárójelentés soksz./.
- [21] Kálmán, F.: Tésztaipari technológia I. /soksz./ 1967
- [22] Gasztonyi, K.: Sütőipari technológia. /soksz./ 1968
- [23] A Szegedi Sütőipari Vállalat közlése. 1970
- [24] A Szegedi Konzervgyár laboratóriumának közlése. 1971
- [25] Likov, A.K.: A száritás elmélete. Nehézipari Könyvkiadó, Bp. 1952
- [26] Benkő, I.: Műszaki hőtani példatár. Tankönyvkiadó, Bp. 1963
- [27] Dolezalik, V.: Hasonlóság és modellezés a kémiai technológiában. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1962
- [28] Benedek, P., László, A.: A vegyészmérnöki tudomány alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1964
- [29] Hidegkuti, Gy., Kiss L.-né: Élelmiszeripari műveletek praktikum. /soksz./ 1967

- [30] Mihejev, M.A.: A hőátadás gyakorlati számításának alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1966
- [31] Arnold, W.: Hőátadáson alapuló készülékek szerkesztése. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1965
- [32] Walton, I.S., Olson, R.L., Levenspiel, O.: Ind. Eng. Chem. 44. 1474-1480, 1952
- [33] Kettenring, K.N., Manderfield, E.L., Smith, J.M.: Chem. Eng. Progr. 46, 139, 1950
- [34] Heertjes, P.M., Mc Kibbins, S.W.: Chem. Eng. Sci. 5, 161-167, 1956

