



Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Tanszék

Almalégyártási melléktermék hasznosításának vizsgálata
Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat

Szerző: Szilágyi Artúr
Szak: Előkészítéstechnikai mérnök MSc
Konzulens: Dr. Mucsi Gábor egyetemi adjunktus
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti
Eljárástechnikai Tanszék

2011. November 4.

Eredetiségi Nyilatkozat

"Alulírott Szilágyi Artúr, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírásommal igazolom, hogy ezt a dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a diplomatervben csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem."

Miskolc, 2011. November 4.

.....

a hallgató aláírása

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti Csőke Barnabás professzor urat az értékes tanácsaiért.

A konzulensem, Dr. Mucsi Gábor egyetemi adjunktus iránymutatásai nélkül ez a munka nem valósulhatott volna meg.

A Miskolci Egyetem tudományos diákköri tevékenységét a TÁMOP-4.2.2.B/10/1-2010-0008 számú projekt támogatta.

A kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
1.1 Célkitűzés.....	1
2. Az almatörköly.....	1
3. Szakirodalom.....	2
3.1 Felhasználási lehetőségek.....	3
4. Az üzem.....	4
4.1 Technológiai sor.....	4
5. Laboratóriumi vizsgálatok.....	6
5.1 Eljárástechnikai alapvizsgálatok.....	6
5.1.1 Mintakisebbités, mintafeldolgozás.....	6
5.1.2 Nedvességtartalom meghatározása.....	6
5.1.3 Szemcseméret eloszlás.....	7
5.1.3.1 Nedves szitálás.....	7
5.1.3.2 Száraz szitálás.....	7
5.1.4 Sűrűség.....	8
5.1.5 Összetétel	9
5.2 Technológiai vizsgálatok.....	9
5.2.1 Őrlés	10
5.2.1.1 A Retsch-féle ultra centrifugális malom.....	11
5.2.1.2 Szemcseméret frakciók tömeghányadai.....	14
5.2.2 A mag leválasztása	15
5.2.2.1 Vizes ülepítés.....	15
5.2.2.2 Nedves szitálás.....	16
5.2.3 Javasolt technológiai sor: kombinált technológia.....	16
6. Konklúzió.....	17
6.1 További kutatási irányok.....	18
7. Irodalomjegyzék.....	19

1. BEVEZETÉS

A környezetvédelmi szabályozás szigorodása és a társadalom növekvő környezeti érzékenysége miatt, nem véletlenül egyre inkább előtérbe kerülnek a különböző hulladékhasznosítási lehetőségek. Sok eddig lerakásra ítélt anyag minden további nélkül újra bevezethető a termelésbe, mint újabb termékek nyersanyaga.

Az almatörköly az almalé előállítása folyamán keletkező élelmiszeripari melléktermék; elsősorban héjrészeket, almahúst, magházat, magvakat és almaszárat tartalmaz. Hasznosítását leginkább az indokolja, hogy az alma a megtermelt mennyiséget tekintve a világon a harmadik legfontosabb gyümölcs a görögdinnye és a banán után; évi megtermelt mennyisége körülbelül 70 millió tonna az Élelmészeti Világszervezet (FAO) kimutatása szerint (FAOSTAT 2009). Ennek nagyjából 20%-a kerül feldolgozásra almalé formájában, tonnánként 140-160 kg mellékterméket eredményezve, ami világviszonylatban körülbelül 2-3 millió tonna almatörkölyt jelent évente (Bashan 2010).

1.1 Célkitűzés

A vizsgálatunk tulajdonképpeni tárgyát képező - évi 100000 liter bio almalevet előállító - feldolgozó üzemmel 2011 szeptember elején kerültünk kapcsolatba. Jelenleg a keletkezett mellékterméket deponálják, ezért javasoltuk az almatörköly - mint újabb termékek lehetséges alapanyagának - tanulmányozását. Ebben dolgozatban az almatörköly hasznosítás egy konkrét megvalósítását szeretnénk megalapozni, így az eljárás technikai alap- és technológiai vizsgálatokat ennek megfelelően hajtottuk végre. A visszamaradó évente körülbelül 30-40 tonna almatörköly hasznosítási lehetőségei közül elsősorban azokat preferáltuk, amelyek az almára és az almalére már elnyert bio minősítés előnyeit ki tudják használni, például újabb biotermékek állíthatók elő.

2. AZ ALMATÖRKÖLY

Részletesen megvizsgálva az almatörkölyt, frissen fehéres-világossárgás színűnek találjuk, a benne lévő magoktól és héjdaraboktól heterogén képet mutató anyagnak. Illata kellemes, mással össze nem téveszthető almaillat. Benne a különböző alkotórészek (héj, hús, szár, mag) szemmel is könnyen elkülöníthetők. A szakirodalom alapján összetétele 95% hús és héj, 2-4% mag, 1% magház és szár, míg nedvességtartalma 70-90% között van (Bashan 2010; (Kennedy et al. 1999).

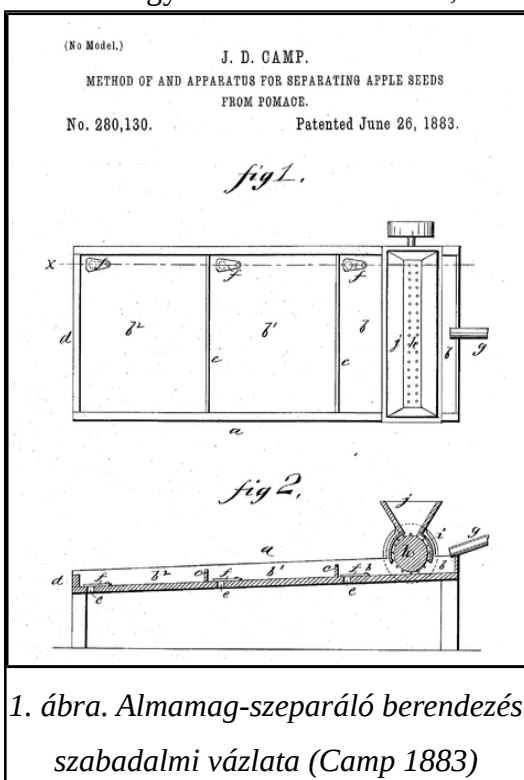
Kémiai szempontból igen változatos összetételű, rengeteg vegyület megtalálható a

szárazanyagában: fehérje (2-11%), lipidek (2-5%), cukor és egyéb szénhidrátok, cellulóz, lignin, pektin, hemicellulóz és egyéb rostok (34-51%), makro és mikroelemek (almasav, illatanyagok enzimek stb.) alkotja (Sato et al. 2010)

Könnyen megfigyelhető jelenség (pl. ha a gyümölcsöt elvágjuk), hogy az alma húsa a levegő oxigénjével való érintkezéskor szinte azonnal barnulni kezd – az oxidációs folyamatok révén. Szobahőmérsékleten a lebontó folyamatok azonnal elindulnak benne, ezért hosszabb tárolás esetén a hűtésről gondoskodni kell, ellenkező esetben beindulnak a spontán erjesztő, vagy levegővel kevésbé érintkező részekben a kellemetlen szaggal járó anaerob rothadási folyamatok.

3. SZAKIRODALOM

Az ember egyik legősibb haszonnövényeként, az alma és feldolgozási melléktermékeinek hasznosítása igen régi hagyományokkal rendelkezik. Érdekesség, hogy már a nagy feltalálók korában, 1883-ban találunk almamag-leválasztó berendezés megvalósítására szabadalmi védelemért folyamodó, és azt el is nyerő tervezőt az amerikai J. D. Camp személyében (**1. ábra**).



1. ábra. Almamag-szeperáló berendezés szabadalmi vázlata (Camp 1883)

megvalósítására szabadalmi védelemért folyamodó, és azt el is nyerő tervezőt az amerikai J. D. Camp személyében (**1. ábra**).

1967-től egészen 1990-ig az évi egy-két darabról a nagyjából 25-re emelkedett a tudományos szaklapokban közölt idevágó témájú cikkek száma, derül ki Kennedy és szerzőtársai által írt, 1999-ben kiadott Analysis of Plant Waste Materials-ban (Kennedy et al. 1999) Ebben a könyvben nagy szabású összefoglalását adják a témában megjelent publikációknak, monografikus stílusban tárgyalva az almaipari hulladékok, maradékanyagok legkülönbözőbb felhasználási területeit. Az azóta eltelt bő

évtizedben továbbra is sok kutatás folyik a témában, leggyakrabban különleges extrakciós eljárásokkal különböző mikroalkotók (fenolok, karotinoidok, flavonoidok stb.) kinyerése a cél, vagy bonyolult kísérletekkel alátámasztott újabb speciális hasznosítások vizsgálatai, mint például nehézfémek megkötése a kinyert rostok felületén (Agnieszka 2005).

A Miskolci Egyetemen Tóthné Szita Klára foglalkozott az almatörköly hasznosításával ökohatékonysági és gazdasági szempontból (Tóthné Szita 2004). A szóban forgó cikk jó

áttekintését nyújtja az almatörköly hasznosítás hazai helyzetének.

A technológiai vizsgálatok során igen sokban támaszkodtunk a Malomipari Gépgyártó Kft. (MAG Kft) évtizedes gyakorlati tapasztalataira és tanácsaira is, amelyeket leginkább szóbeli közlések és különböző berendezések vonalrajzainak formájában bocsátottak rendelkezésünkre.

3.1 Felhasználási lehetőségek

Az almatörköly felhasználása rendkívül változatos képet mutat, amit jól jellemez a világhálón elérhető releváns cikkel száma. Felhasználási lehetőségeinek tág köre miatt valóban érdekesebb inkább melléktermékről, mint hulladékról beszélni. Nyilván annak, hogy a rendelkezésre álló alternatívák közül végül melyiket alkalmazzák, az az éppen aktuális a környezetvédelmi, hatékonysági, jogi vagy piaci feltételek függvénye.

- Változtatás nélkül jó minőségű komposztként rögtön visszakerülhet a természetes körforgásba talajjavító szerként.
- Takarmánként (frissen, silózva vagy szárított formában) (Joshi and Sandhu 1996) való hasznosításban pedig az almatermelés egyharmadát adó kínaiak járnak elől.
- Gomba táptalajként való alkalmazása nem igényel semmilyen külön előkészítést (Kennedy et al. 1999).
- Égetésre is alkalmas, noha jelentős nedvességtartalma miatt (a víz elpárolgtatása lényegében felemésztí az összes keletkező hőt) ez ritkán gazdaságos, továbbá tápanyagokban gazdag beltartalma miatt ez amúgy sem preferált megoldás (Tóthné Szita 2004).
- Könnyen és jól erjeszthető, fermentálással etanolt vagy ecetsavat kaphatunk, anaerob körülmények közt metán és hidrogén előállítására is használható (H. Wang et al. 2010).
- Étkezési célú rostok, táplálékkiegészítők egyik legjobb alapanyaga, a pektinben gazdag sejtfalak a préselésnél visszamaradnak, ezért felhasználható pektin előállítására is (Schieber, Stintzing, and Carle 2001).
- Külön figyelmet érdemel az almamag, amely magas olajtartalommal bír, ezért sajtolással kinyert olaj - linolén-, palmitin-, sztearinsav, aminosavak, foszfor, magnézium, kálium és vas tartalmánál fogva - a kozmetikai és gyógyszeripar alapanyagaként felhasználható, az egyetlen probléma, hogy igen kis részét alkotja a törkölynek. A sajtolás után visszamaradó maganyag takarmányozásra használható (Kennedy et al. 1999).

4. AZ ÜZEM

A Tokajtól 13 km-re délkeletre fekvő, szabolcsi Tiszanagyfalu-Virányoson (2. ábra) több mint 10 éve folyik bioalma termelés 17 ha területen. A hozzá tartozó feldolgozó üzem építése a vállalkozás 2005-ös Kft.-vé alakulása után vált lehetővé, két ütemben. Az Európai Unió támogatásával 2007-ben készült el az almapréselő és almalécsomagoló üzem, míg a hűtőház 2010-ben. Lényegében azóta megoldatlan az évente



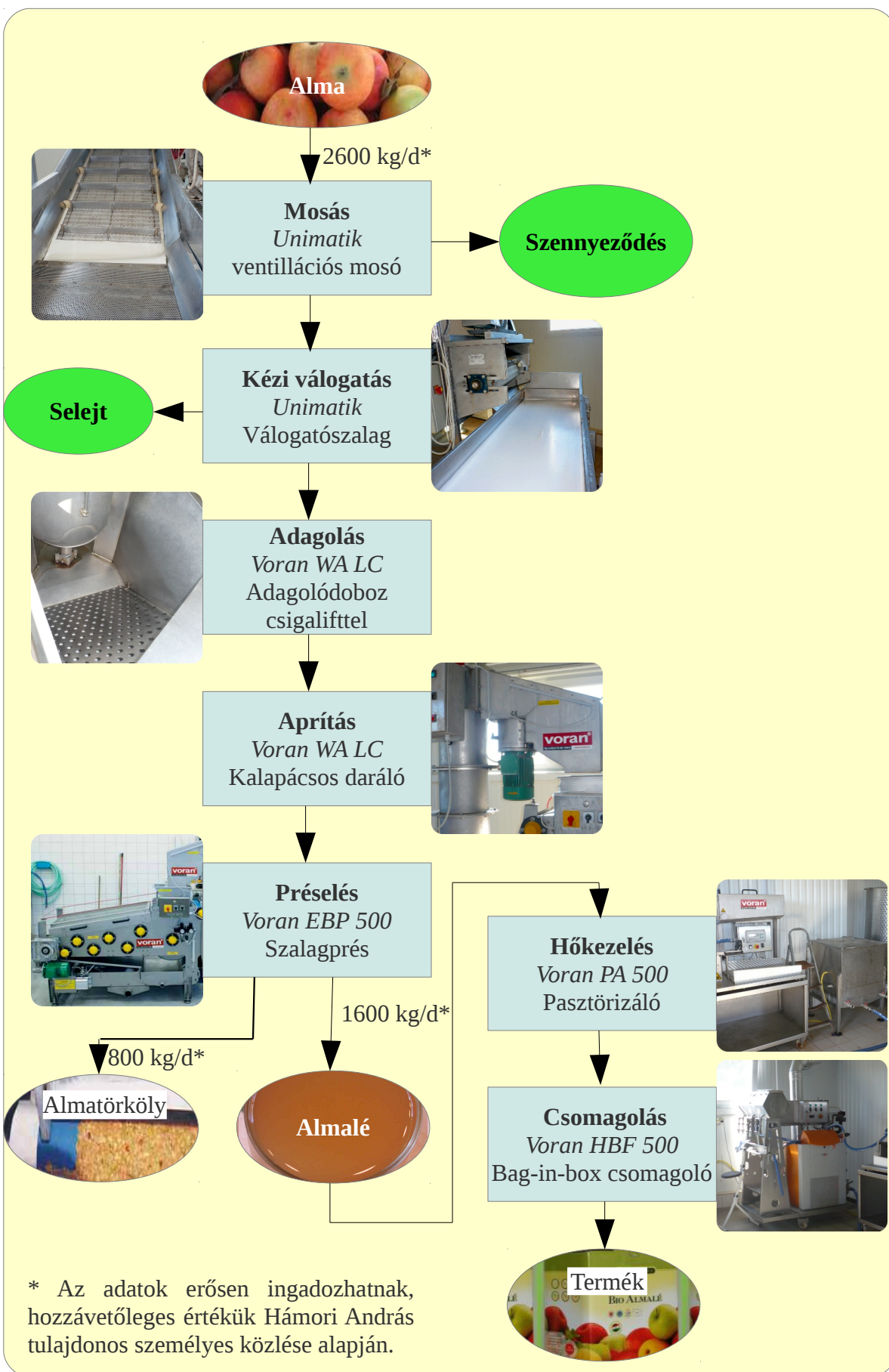
2. ábra. Az üzem helye

felhalmozódó 30-40 tonna almatörköly érdemi hasznosítása. Ennek a keletkezése az év során nem egyenletes, hanem a szüret idejéhez igazodik, mert a leszüretelt almát napokon belül kiperéslik. Szeptember-október hónapokban így 2600 kg/nap almából átlagosan 800 kg törköly keletkezik naponta.

4.1 Technológiai sor

Az üzemben használt összes berendezés teljesen új állapotban került beszerelésre, mert az európai uniós pályázati szabályok kizárják használt gépek beszerelését a támogatásban részesített egységbe.

A 2 km-es körzetben lévő gyümölcsösökből 0.5 m³-es fa ládákban érkezik az alma, amelyekből egy ládaátfordító szerkezet adja fel mosásra a gyümölcsöket, amely alulról a vízbe fúvott sűrített levegő segítségével történik (3. ábra). A szennyeződések (pl. talaj) a vízzel együtt távoznak a kihordószalag perforált aljzatán. Ezután kézzel válogatják ki a hibás almákat az erre a célra rendszeresített válogatószalag mellett, majd ismételt mosás után egy csiga-lift biztosítja az egyenletes feladást az adagolódobozból a 3 kW teljesítményű kalapácsos darálóra. Innen a töret egy osztrák gyártmányú (VORAN EBP 500) típusú szalagprésre kerül, amelynek névleges feldolgozókapacitása maximum 700 kg/h. Ezután a hőkezelésre és csomagolásra egy műanyag csővezetéken kerül a lé egy másik helyiségbe. A szintén a VORAN által gyártott hőcserélő 80 °C-ra melegítve pasztörizálja a folyadékot, majd a csomagoló gép a “bag-in-box” rendszerű 3, 5 és 10 literes kiszerelésekbe tölti. A bag-in-box csomagolás lényege, hogy a steril és előre csappal ellátott polietilén tasakba légmentesen töltött almalevet karton dobozba teszik. A csap a továbbiakban is légmentes adagolást tesz lehetővé, így hűtés nélkül is hónapokig eláll.



3. ábra. Az üzem technológiai vázlata

5. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

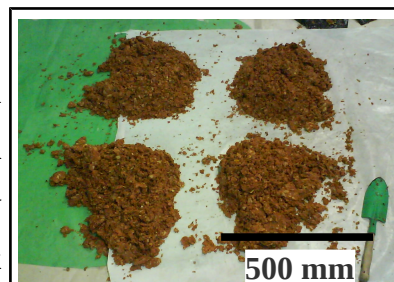
Az üzemből szállított almatörköly mintákat a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet laboratóriumába szállítottuk, ahol a szükséges műszereket és berendezéseket az intézet oktatói és munkatársai bocsátották a rendelkezésemre.

5.1 Eljárástechnikai alapvizsgálatok

Először a legfontosabb alapvető vizsgálatokat hajtottuk végre azért, hogy minél több releváns információnk legyen az üzemből polietilén zsákokban kapott egyenként nagyjából 15 kg tömegű almatörköly mintákról. Ennek megfelelően mértük a halmazsűrűséget, nedvességtartalmat, meghatároztuk az anyag összetételét és szemcseméret-eloszlását.

5.1.1 Mintakisebbités, mintafeldolgozás

A beérkezett mintában keveréssel biztosítottuk az egyenletes, homogén anyagi összetételt, majd a további kísérletekhez szabványos mintakisebbitéssel (negyedeléssel) állítottuk elő a reprezentatív elemzési mintákat (4. ábra). Ezeket a további feldolgozásig hűtőszekrényben tároltuk, hogy megakadályozzuk a természetes bomlási folyamatok érvényesülését.



4. ábra. Mintakisebbités

5.1.2 Nedvességtartalom meghatározása

Az almatörköly víztartalma még a préselés ellenére is igen magas. Pontos értékének meghatározása céljából a rendelkezésünkre álló szárítószekrényben 105°C-on tartottuk a tömegállandóság eléréséig, azaz amíg az óránként megmért tömege már nem változott két egymást követő mérés során. A kiindulási anyagtömeg (m_{teljes}), illetve a szárítás utáni tömeg ($m_{szilárd}$) ismeretében számítható az u nedvességtartalom:

$$u = \frac{m_{v\acute{z}}}{m_{teljes}} = \frac{m_{teljes} - m_{szilárd}}{m_{teljes}},$$

ahol $m_{v\acute{z}}$ az anyagban lévő víz tömege. A méréssorozat során kapott értékeket az 1. táblázat foglalja össze. A szakirodalomban többféle adatot találtunk a nedvességtartalomra és a szárítási paraméterekre vonatkozóan - pl. a 60°C-on 24 órán át (Gullón et al. 2007) vagy a 80°C-on két órán át (Pirmohammadi et al. 2006). A különböző szerzők által közölt nedvességtartalom 71% és 90% közt ingadozott, préselő berendezéstől, almafajtától és szárító eljárástól függően. Az általunk számított átlagérték ennél magasabb, több mint

91%-os, ami az alkalmazott magasabb, 105°C-os hőmérsékletnek köszönhető, hiszen az alacsonyabb hőmérsékleteken még kötve maradó víz ekkor teljesen eltávozik.

5.1.3 Szemcseméret eloszlás

Az almatörkölynek nem csak a nedvességtartalma magas, de a cukor, rost és pektin összetevők miatt ez a heterogén, lágy anyag elég ragadós és könnyen rátapad

a szitarácsokra, emiatt az egzakt szitálás nehézségekre ütközik, továbbá a rázásra széteső összeragadt szemcsék méretének meghatározása bizonytalan. A laborba beérkező anyag szemcseméret eloszlását ezért két eltérő módon, vizes közegű *nedves szitálással* és a szárítást követő anyag *száraz szitálásával* határoztuk meg.

5.1.3.1 Nedves szitálás

A szitákat a feladással együtt vízbe merítve végeztük a nedves szitálást (5. ábra). A



5. ábra: Nedves szitálás

rázás és a víz hatására azonnal megkezdődött a törköly összetapadt szemcséinek szétválása, dezagglomerálódása, habár ez nem zajlott le maradéktalanul, még intenzív szitálás esetén is voltak összetapadt héj és húsdarabokból álló szemcsék. A kapott frakciók tömegét megszárítva mértük le, mert a szitálás során felszívott nagy mennyiségű víz eltorzította volna az adatokat. A 2.

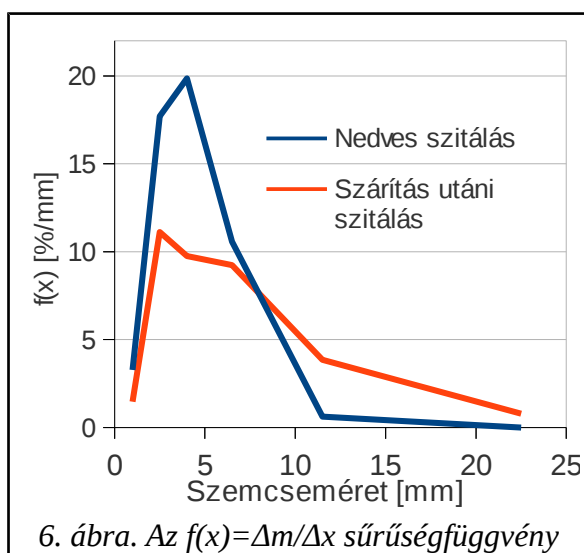
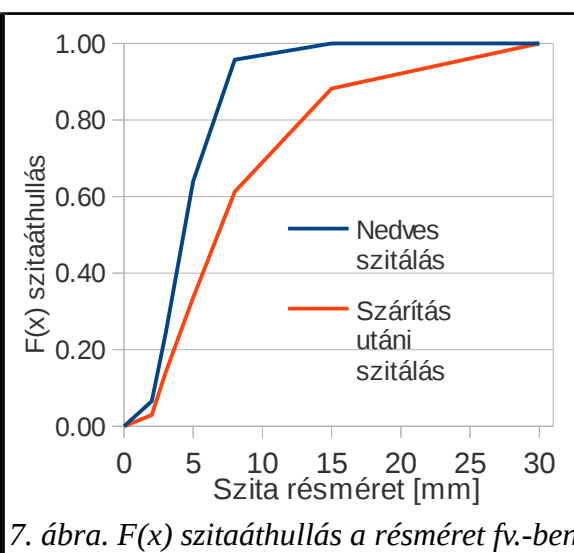
táblázatban foglaltuk össze a mérési eredményeket, illetve a 6. és 7. ábrákon látható a szemcseméret szerinti frakciók tömeghányad sűrűség és szemcseméret eloszlás görbéje. Az előbbin jól látszik, hogy 5 mm-es szemcsenagyság körül kiugróan sok szemcse található. A szitálás ezen módja tehát a különböző komponensek (mag, szár, hús, héj) közös mérettartományát jellemzi, ami azt mutatja, hogy a kalapácsos daráló többé-kevésbé egyenletesen 5 mm körüli mérettartományba aprítja az almákat.

5.1.3.2 Száraz szitálás

Előzetes szárítás esetén a szemcsék dezagglomerációja elmarad, sőt a hő hatására még össze is cementálódnak, konzerválva az eredeti szemcséket, amelyek a száraz szitálás során már nem tudnak szétesni, ellentétben a nedves szitálással. A 2. táblázatban összefoglalt adatokból illetve a 6. és 7. ábrán megfigyelhető a nagyobb szemcseméretű frakciók magasabb tömeghányada, és a jóval egyenletesebb eloszlás.

1. táblázat. A nedvességtartalom mérési eredmények			
Mintasám	m_{teljes} [g]	$m_{szilárd}$ [g]	u
1	500	59.91	88.02%
2	6351	408	93.57%
3	4930	390	92.09%
Átlag			91.22%

2. táblázat: A szitálás eredményei							
		Száras szitálás			Nedves szitálás		
Feladás		316.31 g			59.91 g		
Xi	Xi+1	száras	tömeg-	szita-	száras	tömeg-	szita-
[mm]	[mm]	tömeg [g]	hányad	áthullás	tömeg [g]	hányad	áthullás
0	2	9.32	0.029	0.029	3.92	0.065	0.065
2	3	35.17	0.111	0.141	10.61	0.177	0.243
3	6	61.69	0.195	0.336	23.8	0.397	0.640
6	10	87.6	0.277	0.613	19	0.317	0.957
10	15	85.15	0.269	0.882	2.58	0.043	1.000
15	30	37.38	0.118	1.000	0	0.000	1.000

6. ábra. Az $f(x)=\Delta m/\Delta x$ sűrűségfüggvény7. ábra. $F(x)$ szitaáthullás a rés méret fv.-ben

5.1.4 Sűrűség

A laza halmazsűrűség - adott térfogatú mérőedényt feltöltő almatörköly tömegének mérésével - számítható a jól ismert képlet segítségével:

$$\rho_{\text{halmaz}} = \frac{m}{V},$$

ahol ρ_{halmaz} halmazsűrűség, m mintatömeg, V pedig a mérőedény térfogata. A többször elvégzett mérések alapján kapott értékek számtani közepét vettük (3. táblázat). Az anyagot nedvesen, és szárazon is vizsgáltuk, így megfigyelhető volt a laza halmazsűrűség (0.562 g/cm^3) kevesebb, mint felére (0.247 g/cm^3) csökkenése a víz távozásával.

3. táblázat. Az almatörköly nedves és száraz halmazsűrűsége							
Nedves halmazsűrűség				Száras halmazsűrűség			
Minta	m [g]	V [cm ³]	ρ [g/cm ³]	Minta	m [g]	V [cm ³]	ρ [g/cm ³]

1	314	1220	0.257	1	1129.6	2000	0.565
2	135.9	560	0.243	2	1104.1	2000	0.552
3	312.8	1300	0.241	3	570.1	1000	0.570
Átlag			0.247	Átlag			0.562

5.1.5 Összetétel

Az anyagi összetevőket a mintaanyag kézi szétválogatásával kaptuk, amely során három frakciót tudtunk elkülöníteni: magokat, szárat és az összetapadt húsból és héjdarabokból álló egyéb frakciót.

Ezek az értékek megfelelnek a bevezetésben már említett szakirodalmi

4. táblázat. Nedves almatörköly alkotórészek

	m [g]	tömegarány[%]
mag	2.47	2.16
szár	0.5	0.44
héj+hús	111.37	97.40
összes:	114.34	100.0

adatoknak. Az almamag aránya viszonylag kevés, amit azzal magyarázhatunk, hogy ebben az üzemben az almák átlagos méretei nagyobbak, mert nem csak a hagyományosan gyengébb, "lé" minőségű almákat préselik ki. Az almalé könnyebb tárolása, eltarthatósága miatt a frissen szüretelt, egyébként piaci értékesítésre alkalmas nagyméretű gyümölcsöket is feldolgozzák, ezekben pedig relatíve kisebb a magok aránya (Hátori András cégtulajdonos szóbeli közlése).

A nedves szitálással nyert szemcseméret frakciók összetevőkre bontását is elvégeztük, hogy az azokban esetlegesen előforduló alkotórész-dúsulásokra fény derüljön (5. táblázat).

5. táblázat. A nedves szitálás frakcióinak összetétele

			Alkotórészek tömege			Kihozatalok		
X_i	X_{i+1}	száraz tömeg						
[mm]	[mm]	[g]	mag [g]	szár [g]	hús+héj[g]	mag [%]	szár [%]	hús+héj[%]
0	2	3.92	0	0	3.92	0	0	6.99
2	3	10.61	0	0	10.61	0	0	18.93
3	6	23.8	3.270	0.300	20.23	100	50	36.10
6	8	19	0.000	0.300	18.7	0	50	33.37
8	15	2.58	0.000	0	2.58	0	0	4.60
Összesen			3.27	0.6	56.04			

Jól látszik, hogy erős dúsulások lépnek fel, a magok teljes mennyisége a 3-5 mm szemcseméretű tartományba esik, és a szár is csak két frakcióban van jelen.

5.2 Technológiai vizsgálatok

A mintaanyag fizikai tulajdonságainak megismerése után a különböző hasznosítási lehetőségeket vizsgáltuk, ezek közül is elsősorban a fizikai, mechanikai módszereket. Vegyi eljárásokat nem tanulmányoztunk, mert ezek beruházási költsége jóval nagyobb, továbbá a kemikáliák használata könnyen kizáró ok lehet a meglévő - Biokontroll Hungária Kft. által folyamatosan ellenőrzött - bio minősítés további termékekre való továbbvitelében. Sok olyan eljárás létezik - például a citromsav-, biogáz-, vagy hidrogénelőállítás - amelyeknél az almatörköly bio- vagy nem bio volta nem játszik szerepet a végtermék, vagy hasznosítási forma minőségi paramétereinek meghatározásában.

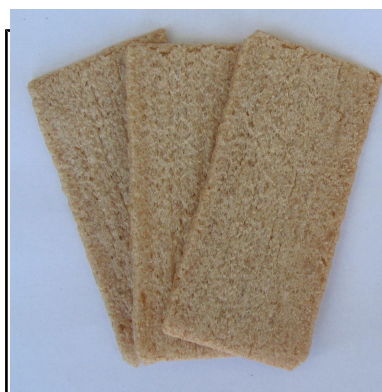
Ezek alapján a felhasználási lehetőségek három fő irányát jelöltük ki:

- különböző szemcseméretű, élelmiszeriparban felhasználható porok előállítása az anyag szárítása, őrlése és osztályozása révén.
- A magok kinyerése dúsítási és osztályozási műveletekkel, majd az almamagolaj sajtolása.
- Az előző két hasznosítás egymásra épülő kombinációja. Ez a változat az olaj és a porok párhuzamos előállítását teszi lehetővé.

5.2.1 Őrlés

A szárított almatörkölyből készült porokat többfelé alkalmazzák az iparban, Magyarországon például a Malomipari Gépgyártó Kft. (MAG) foglalkozott pipadohány, tea vagy lótlap ízesítésére használt almatörköly porok előállítására alkalmas berendezések gyártásával (Bartakovics Ferenc ügyvezető igazgató szóbeli közlése). Ezeken kívül hatalmas potenciál rejlik a sütőipari felhasználásban (**8. ábra**) növényi zsiradékok helyett alkalmazva (Min et al. 2010).

Ehhez az első lépés az almatörköly minél hatékonyabb kiszárítása, amely kisebb mennyiség (kevesebb, mint 5 t/h) esetén gazdaságosan megvalósítható ellenáramú keverő-szárítóval. A gépben tengelyen forgó szalagspirálok végzik a keverést, miközben a melegvizes fűtés duplikátoron keresztül ellenáramlásban adja át a hőt. A külső felületek hőszigeteléssel vannak ellátva. A párák levegő elszívására két levegőcsont szolgál.



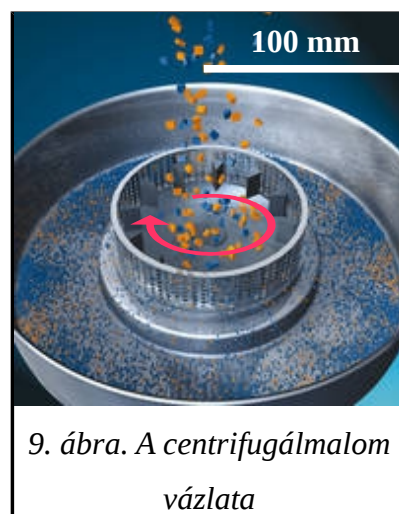
8. ábra. Szárított almatörköly felhasználásával előállított extrudált kenyér
Forrás: MAG Kft.

A kiszáritott anyagot őrlésnek kell alávetni a megfelelő por szemcseméret tartomány elérése érdekében, amihez többféle malom is alkalmas lehet. Általános szabályként azt mondhatjuk, hogy a finomabb (250 mikronnál kisebb szemcseméretű) porok a legértékesebb frakciók, ezért ezek minél nagyobb tömegkihozatalát szerettük volna elérni.

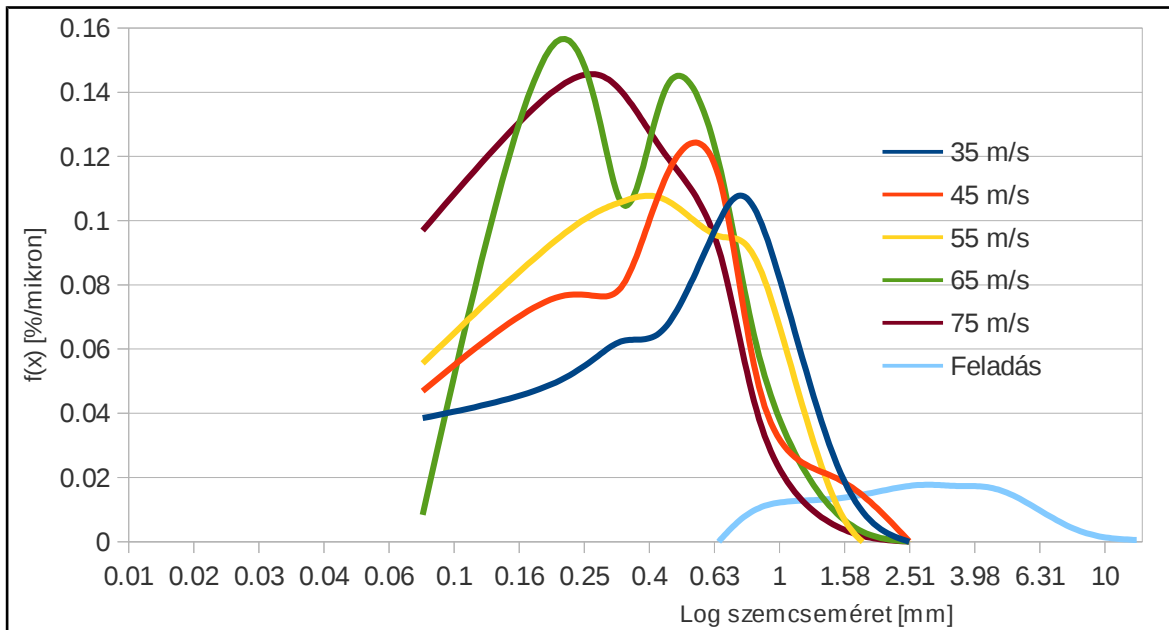
5.2.1.1 A Retsch-féle ultra centrifugális malom

A laboratóriumban vizsgáltuk a Retsch-féle centrifugálmalom almatörköly őrlési tulajdonságait változó kerületi sebességek esetén.

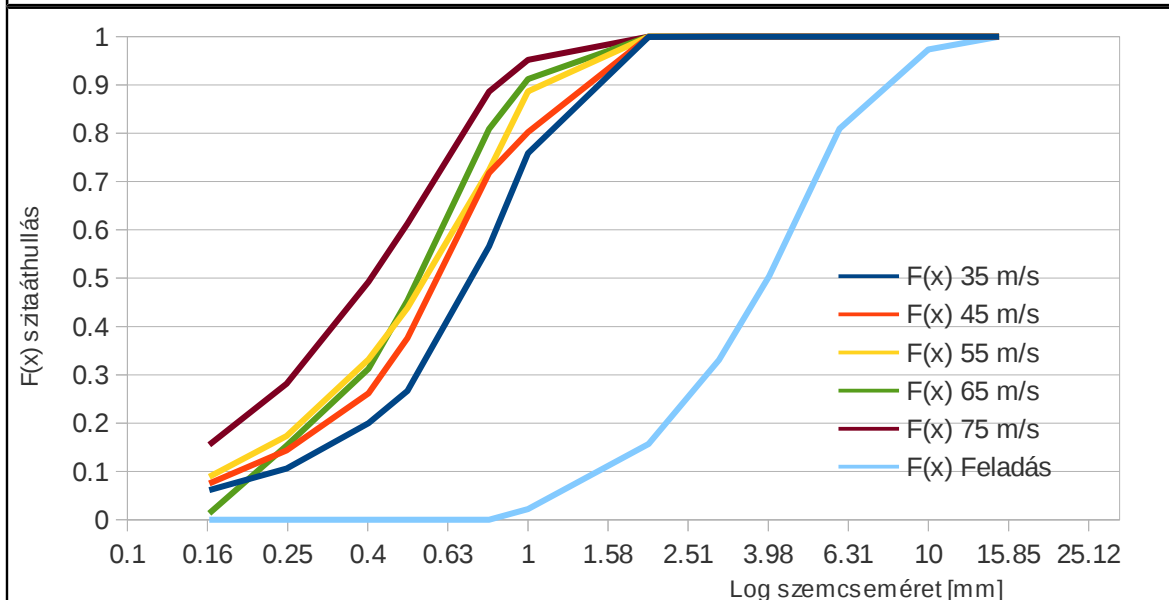
A RETSCH cég által gyártott ZM 200 kézi ultra centrifugális malom működése azon alapul, hogy a felülről adagolt szemcsék egy forgó rotoron elhelyezett őrlőfogakkal szegélyezett körlapra a forgás tengelyének irányából érkező centrifugális erő hatására nekicsapódnak a fogaknak (9. ábra). A rotor körül elhelyezett szitahengerről mindaddig visszapattannak a szemcsék a forgó lap belseje felé, amíg a szita résmérete alá nem őrlődve ki nem repülnek a gyűrű alakban elhelyezett gyűjtő egységbe. Az centrifugális erő által létrehozott ütés mellett a nagy fordulatszámú (4000-18000 fordulat/perc) rotor és a rögzített szita közt a súrlódás együttesen biztosítja az igen gyors őrléshez szükséges igénybevételt. Leginkább rostos, lágy vagy középkevény anyagok (pl. kollagén, csont, papír, élelmiszer, műanyagok, mészkő, szén stb.) őrlésére alkalmas.



A laboratóriumban az őrlemény szemcseméreteloszlását először a rotor kerületi sebességének függvényében vizsgáltuk (10., 11. ábra). A minimális (körülbelül 32 m/s) és maximális (82 m/s) lehetséges kerületi sebességek közt 5 fokozatban (35, 45, 55, 65 és 75 m/s) hajtottuk végre a őrlést, majd kéziszitálással határoztuk meg az őrlemények szemcseméret-eloszlásait. A kerületi sebesség növekedésével megfigyelhető a kisebb szemcseméretű frakciók tömeghányadának növekedése, hiszen a nagyobb kerületi sebesség nagyobb igénybevételt jelent a malomba kerülő szemcse számára.



10. ábra. Az $f(x)=\Delta m/\Delta x$ sűrűségfüggvények különböző őrlőtest kerületi sebességei esetén

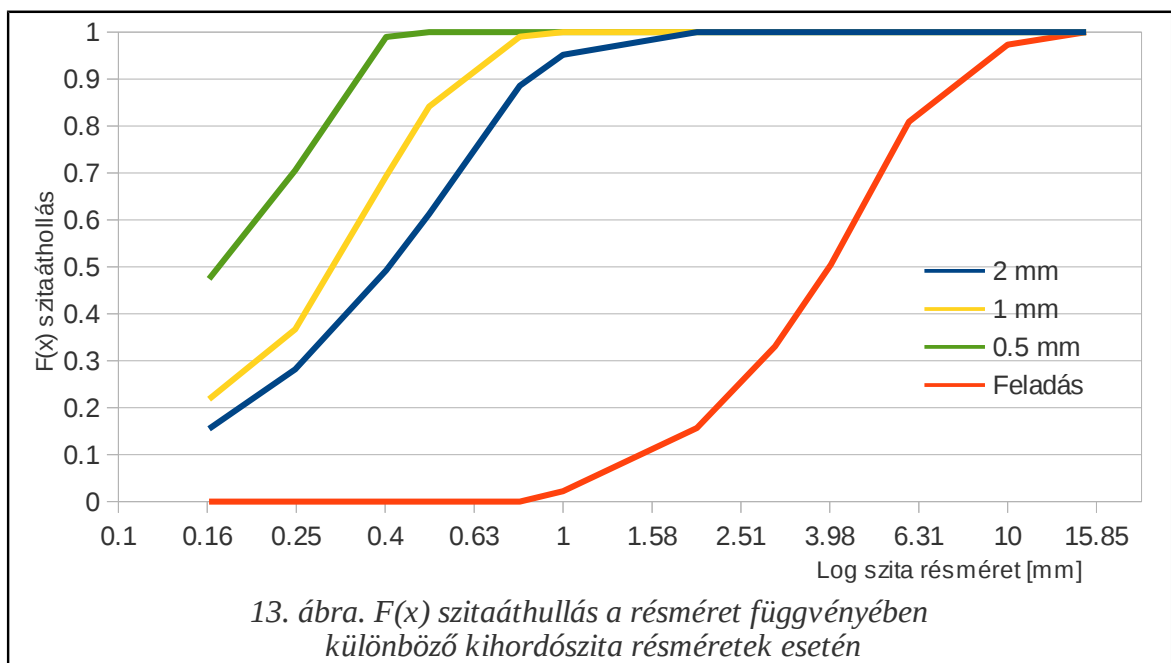
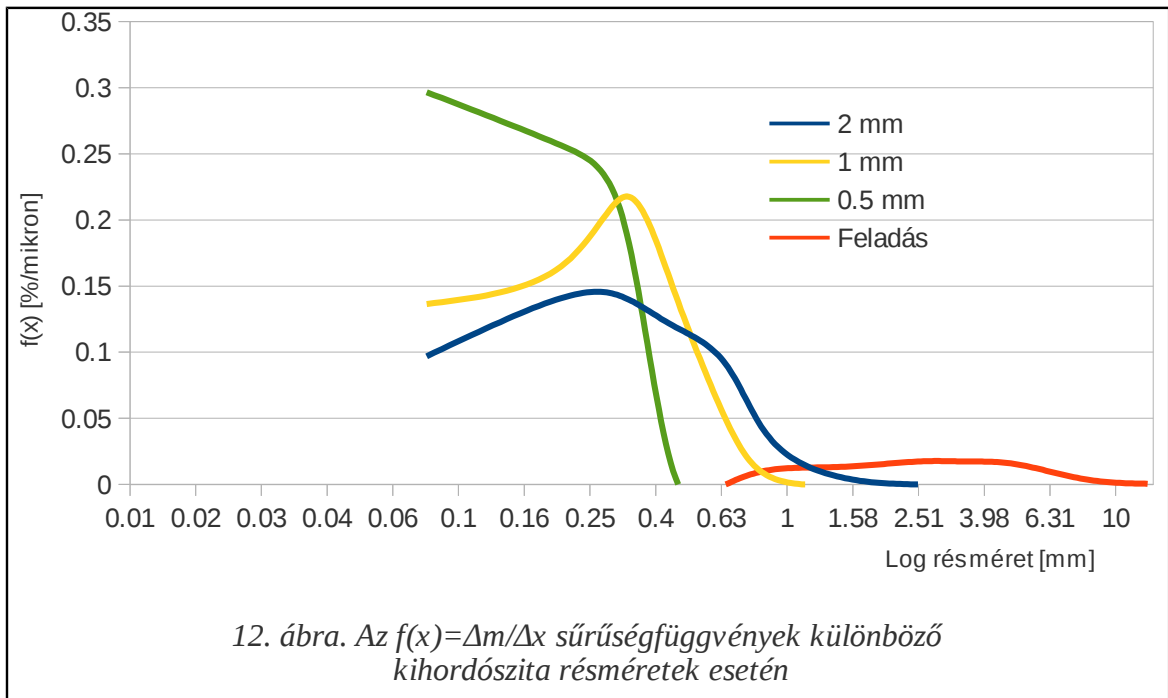


11. ábra. $F(x)$ szitaáthullás a részmeret függvényében különböző őrlőtest kerületi sebességei esetén

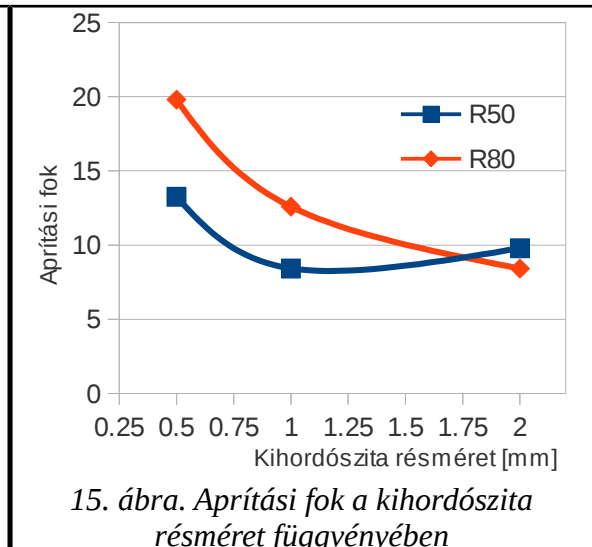
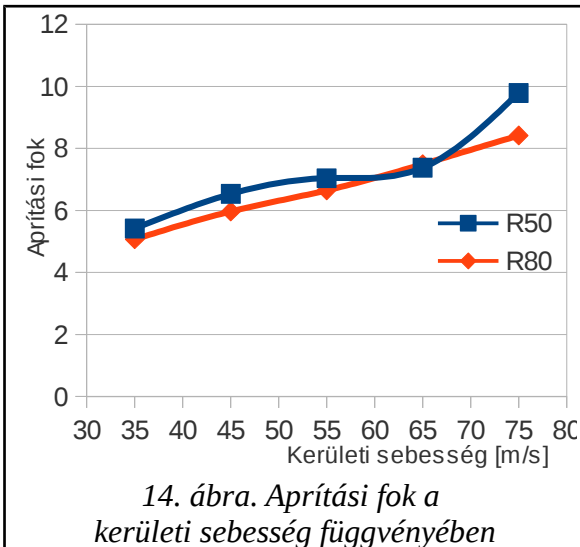
Az általunk használt centrifugálmalomban az őrlést meghatározó másik fontos paraméter az őrlőtestek körül gyűrű alakban elhelyezkedő kihordószita részmérete, hiszen a szemcse mindaddig az őrlőtérben marad, amíg a szita részméreténél kisebbre nem csökken a mérete. Ezért állandó, 75 m/s kerületi sebesség mellett kísérletet végeztünk az őrlemény szemcseméret eloszlása és a szita részmeret közti kapcsolatot vizsgálatára (12., 13. ábrák).

Az első őrlési kísérletben ez konstans 2 mm volt, emellett 1 és 0.5 mm-es szitákkal is elvégeztük az őrlést.

Az ábrákon jól látszik, hogy a részmeret csökkenésének igen jelentős szerepe van az



általunk előállítani kívánt finom frakciók arányának növekedésében. Ahhoz, hogy pontosabb képet kapjunk a két paraméter hatásáról, meghatároztuk mindkét kísérletben az 50, illetve 80%-os szemcseméretekhez tartozó aprítási fokokat (14., 15. ábrák). Ezek alapján a vizsgált tartományban a kerületi sebesség többé-kevésbé lineáris összefüggést mutat az aprítási fokkal, míg a szita lyukbőségének csökkentésével már inkább valamely hatványfüggvény szerinti összefüggést mutat, ez azonban még további vizsgálatokat igényel.



5.2.1.2 Szemcseméret frakciók tömeghányadai

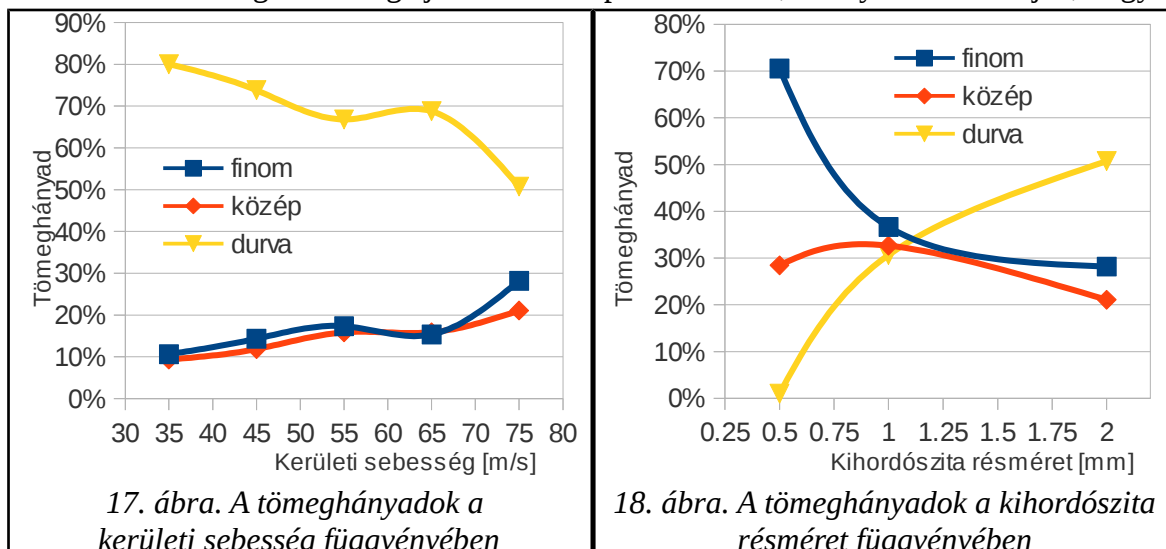
A kívánt mérettartományokba eső porok előállításához a legkézenfekvőbb megoldást a különböző finomságú síkszitasorok jelentik: a MAG Kft. például a 250 ill. 400 mikronos szemcseméretnél történő, háromtermékes osztályozást ajánlja. A szitálás során létrejövő



16. ábra. A feladás (I) és az őrlés termékei (IIa: 250 μm alatti, IIb: 150-400 μm közötti és IIc: 400 μm fölötti szemcsemérettel)

termékek tömeghányadát a feladni kívánt anyag szemcseméreteloszlása határozza meg leginkább, ez esetben tehát az osztályozást megelőző őrlés tulajdonságai.

Az őrlési kísérletek során meghatároztuk a 250 mikron alatti (finom-), a 400 mikron feletti (durva-) és a kettő közti (közép-) termékek tömeghányadát, illetve vizsgáltuk a rotor kerületi sebesség és a kihordószita résméretének hatását az eredményekre. A 17. és 18. ábrán található diagramok foglalják össze a kapott értékeket, amelyek azt mutatják, hogy a



kerületi sebesség növekedése a közép- és finomtermék arányának együttes növekedést hozta a vizsgált sebességtartományban, míg a szita résméretének az eredeti negyedére való csökkentése már a középtermék arányának csökkenésével jár együtt, a finomtermék kihozatalának 28-ról 70 százalékra emelkedése mellett.

5.2.2 A mag leválasztása

Az almatörköly hasznosítás egy, az eddigiektől teljesen eltérő lehetőségeként az almag kinyerését vizsgáltuk, amely préselés után egy értékes bioterméket, az almagolajat eredményezi.

A MAG Kft. információi szerint szárítás után lehetőség van sűrűség alapján légszekrényben szétválasztani a magokat a törköly többi alkotórészétől - azonban az üzemi szárítás során a mag elveszíti olajtartalmának jelentős részét, ezért az így kapott terméket nem érdemes kisajtolni. A magot ebben az esetben az őrlemények ízének javítása miatt és nem olajgyártás céljából távolítják el, tehát lényegében hulladékanyag, sőt inkább drágítja az eljárást egy plusz technológiai lépcső és hulladékkezelési feladat miatt.

5.2.2.1 Vizes ülepités

A szakirodalom alapján a magok szétválasztására leginkább vizes ülepitéses módszerek léteznek. Ekkor a vízáramba helyezett almatörkölyben amagokon kívüli anyag részben oldódik, részben a mag a sűrűségénél fogva ülepedni kezd. Ez az eljárás igen nagy mennyiségű vizet igényel, amelynek a kezelése, tisztítása problémás.

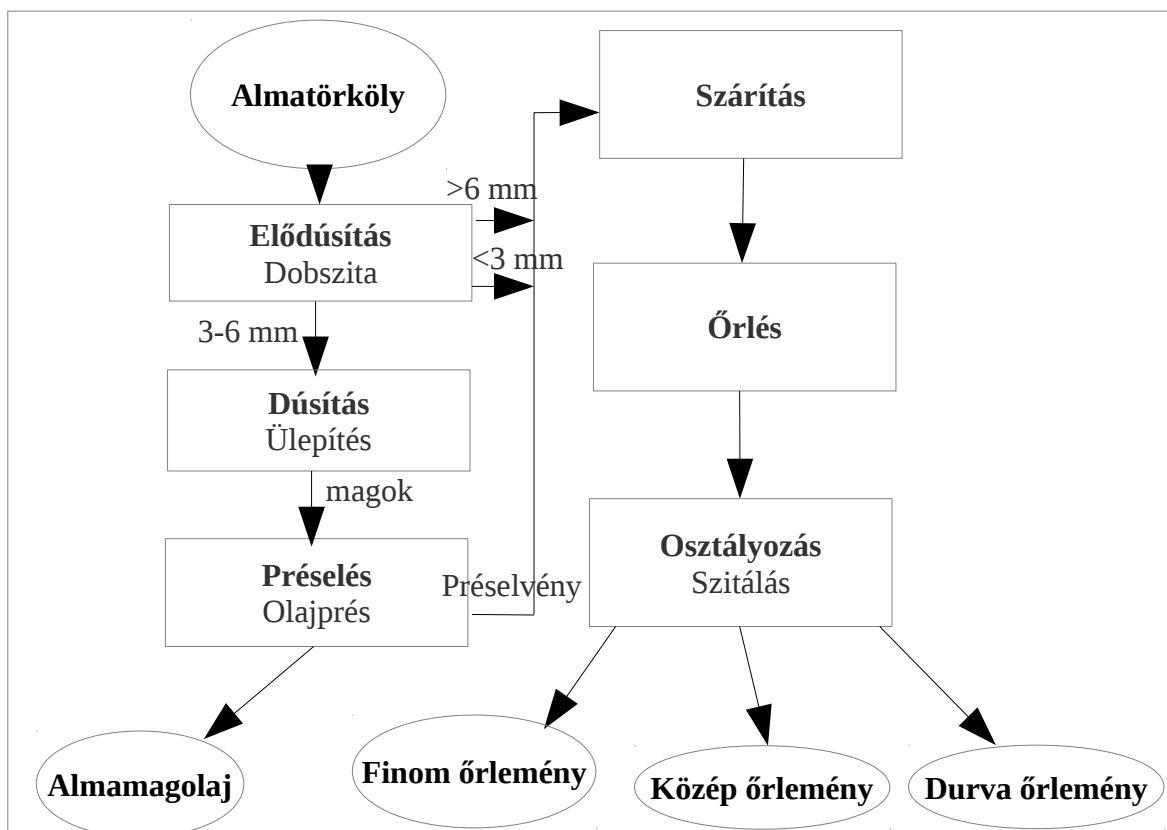
5.2.2.2 Nedves szitálás

A 4.1.5-ben, az összetételnél már érintettük, hogy a vízzel történő szitálás során az almamagok teljes tömege a 3-6 mm szemcseméretű frakcióban koncentrálódik. A vizes szitálás azonban körülményes, ezért megvizsgáltuk azt a lehetőséget, hogy víz nélkül, nedves állapotban történő szitálás esetén a 3 mm és 6 mm közti termék milyen kihozattal bír az almamagra nézve. A **6. táblázatban** látható, hogy ugyan viszonylag alacsony koncentrációban (13.64%) de a középtermék tartalmazza a magok 80%-át, a kiinduló tömeg kevesebb, mint tizedébe koncentrálva.

6. táblázat. Almamag tömegkihozatal friss állapotban történő szitálás esetén					
x_i	x_{i+1}	tömeg [g]	Almamag tömeg [g]	Kihozatal	Koncentráció
6		219.75	0.660	20.56%	0.30%
3	6	18.7	2.550	79.44%	13.64%
0	3	0	0.000	0.00%	0.00%
SUM		238.45	3.21	-	1.35%

Megfigyelhető volt, hogy a magok csak részben a szemcseméretük miatt szeparálódtak ki: jelentős szerepe volt annak is, hogy a mag felülete kevésbé ragadós, ezért enyhe rázaskor jóval könnyebben levált a többi alkotórészről, mint azok egymásról. Egy ilyen elven működő eljárás tehát előzetes dúsításként számításba vehető.

5.2.3 Javasolt technológiai sor: kombinált technológia



Véleményünk szerint a jelen esetben megvalósítható a porelőállítás és az almamagolaj kinyerés együttes alkalmazása. Az új technológia nem egyszerűen a két különböző hasznosítás egymás után helyezése, hanem az almamagdúsítás és préselés során visszamaradt anyagok szárításba és porelőállításba vezetése miatt egy olyan lehetőség, amely mindkét módszer melléktermékeinek kezelésére is megoldást nyújt.

Az őrlés és a magleválasztás együttes megvalósítására tudomásunk szerint Magyarországon jelenleg nincs példa.

6. KONKLÚZIÓ

A dolgozatban a tiszanagyfalu-virányosi bioalma-feldolgozó üzem technológiai fejlesztését alapoztuk meg, amelynek eredményei az alábbiakban foglalhatók össze:

- A meglévő szakirodalmi források alapján vizsgáltuk az almatörköly hasznosítását és arra a következtetésre jutottunk, hogy az jelenleg nem megoldott. Bár számos lehetőség adódik, azok vagy nem alkalmazhatók ebben az esetben, vagy nem teljeskörűek
- Mérések során megállapítottuk az almatörköly eljárás technikai szempontból mérvadó tulajdonságait.
- Az alapanyagot szisztematikus őrlési sorozatoknak tettük ki egy RETSCH ZM200 típusú ultra centrifugálmalomban, vizsgálva a különböző rotor kerületi sebességek és kihordósízi lyukbőrségek hatását az őrleményre, amelynek eredményeként megállapítható, hogy a legfinomabb terméket 75 m/s kerületi sebesség és 0.5 mm szitarács esetén állítottunk elő. Az aprítási fok a kerületi sebességgel nő, míg a lyukbőrség növekedésével csökken.
- Az alapvizsgálatok eredményeként egy újfajta kombinált technológiát javasolunk a az almatörköly feldolgozásra és hasznosítására. Ennek újdonsága abban rejlik, az általános feldolgozási megoldásokhoz képest, hogy egy elődúsítási lépcsővel leválasztjuk a magot, amelyből almamagolaj készül, míg a sajtolásból származó préselmenyt és a törköly további frakcióit egy szárítás utáni őrlésnek tesszük ki. Az őrleményt végezetül három frakcióra bontjuk, amelyek lényegében a kereskedelmi frakciókat jelentik. A technológiának két fő előnye, hogy egyrészt megőrződik a mag a préseléshez, amely a szárítás során elveszítené értékes hatóanyagait, másrészt az elődúsítási lépéssel kiküszöböljük a törköly teljes anyagának felhasználását az igen vízigényes dúsításhoz.

6.1 További kutatási irányok

A vázlatos technológiai sor részleteinek kidolgozása a közeljövőben kezdődik meg. A 4.2.2.2-ben tárgyalt nedves elődúsítás például további vizsgálatokat és figyelmet érdemel, hiszen reményeink szerint egy dobszítában történő osztályozás esetén valószínűleg még jobban felerősödne a dúsulási tendencia, hiszen a dob forgó mozgásával a nagy összetapadt csomók még inkább hajlamosak lennének az agglomerációra, “felszedve” magukkal a többi szemcsét is, míg a magok átesnének.

Reményeink szerint a szükséges kapacitású berendezések kiválasztása után hamarosan megkezdheti működését a kibővített technológiájú üzem.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- Agnieszka, Nawirska. 2005. "Binding of heavy metals to pomace fibers." *Food Chemistry* 90 (3) (May): 395-400. doi:10.1016/j.foodchem.2004.04.009.
- Bashan, Shashi. 2010. Apple pomace current scenario. In Palampur, India: IHBT.
- FAOSTAT. 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Gullón, Beatriz, Juan Carlos Parajó, Elena Falqué, and José Luis Alonso. 2007. "Evaluation of Apple Pomace as a Raw Material for Alternative Applications in Food Industries." *Food Technology and Biotechnology* 45 (4): 426-433.
- Joshi, V.K., and D.K. Sandhu. 1996. "Preparation and evaluation of an animal feed byproduct produced by solid-state fermentation of apple pomace." *Bioresource Technology* 56 (2-3): 251-255. doi:10.1016/0960-8524(96)00040-5.
- Kennedy, M., D. List, Y. Lu, R.H. Newman, I.M. Sims, and P.J.S. Bain. 1999. Apple pomace and products derived from apple pomace: uses, composition and analysis. In *Analysis of Plant Waste Materials*, 20:75-119. Berlin: Springer-Verlag.
- Min, Bockki, In Young Bae, Hyeon Gyu Lee, Sang-Ho Yoo, and Suyong Lee. 2010. "Utilization of pectin-enriched materials from apple pomace as a fat replacer in a model food system." *Bioresource Technology* 101 (14) (July): 5414-5418. doi:10.1016/j.biortech.2010.02.022.
- Pirmohammadi, R., Y. Rouzbehan, K. Rezayazdi, and M. Zahedifar. 2006. "Chemical composition, digestibility and in situ degradability of dried and ensiled apple pomace and maize silage." *Small Ruminant Research* 66 (1-3) (November): 150-155. doi:10.1016/j.smallrumres.2005.07.054.
- Sato, Mariana Fátima, Renato Giovanetti Vieira, Danianni Marinho Zardo, Leila Denise Falcão, Alessandro Nogueira, and Gilvan Wosiacki. 2010. Apple pomace from eleven cultivars: an approach to identify sources of bioactive compounds. In *DEA - Artigos Publicados em Periódicos*.
- Schieber, A, F.C Stintzing, and R Carle. 2001. "By-products of plant food processing as a source of functional compounds — recent developments." *Trends in Food Science & Technology* 12 (11) (November): 401-413. doi:10.1016/S0924-2244(02)00012-2.
- Tóthné Szita, Klára. 2004. "Az almatörköly hasznosításának ökohatékonysági vizsgálata." *MTA-JTB Konferenciakötet*: 183-203.
- Wang, Hui, Jian Wang, Zhong Fang, Xiaofang Wang, and Huaiyu Bu. 2010. "Enhanced bio-hydrogen production by anaerobic fermentation of apple pomace with enzyme hydrolysis." *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (15) (August): 8303-8309. doi:10.1016/j.ijhydene.2009.12.012.