

Miskolci Egyetem



GÉPÉSZMÉRNÖKI- ÉS INFORMATIKAI KAR
ENERGETIKAI ÉS VEGYIPARI GÉPÉSZETI INTÉZET

TDK DOLGOZAT
Alumínium italosdobozok szilárdsági vizsgálata

KÉSZÍTETTE:

Tóth Botond

Gépészmérnöki szakos hallgató

KONZULENS:

Dr. Petrik Máté

adjunktus

Dr. Szepesi L. Gábor

egyetemi docens

Miskolc, 2023.



University of Miskolc



FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AND INFORMATICS
INSTITUTE OF ENERGY AND CHEMICAL ENGINEERING INSTITUTE

SCIENTIFIC STUDENT CONFERENCE THESIS
Mechanical study of aluminium beverage cans

WRITTEN BY:

Tóth Botond

student of the mechanical engineering study program at BSc level

SUPERVISOR:

Dr. Petrik Máté

Assistant professor

Dr. Szepesi L. Gábor

Associate professor

Miskolc, 2023.



Rezümé

Tóth Botond

Gépészmérnöki és Informatikai Kar

Miskolci Egyetem

*Konzulens: **Petrik Máté***

adjunktus

Szepesi L. Gábor

egyetemi docens

Alumínium italosdobozok szilárdsági vizsgálata

Mechanical study of aluminium beverage cans

„A lényeg (...) nem az, hogy mennyi időt töltesz az egyes dolgokkal. Nem. Az energia számít, amit belefektetsz.”

(Michael Crawley)

A dolgozatomban alumínium italos dobozok tulajdonságait, valamint a nyomással és hőmérséklettel kapcsolatos jellemzőit ismertetem. Egy áttekintést készítettem róla, mint nyomástartó berendezés, jogszabályi háttéréről a gyártástechnológiájáról, kialakításáról és alapanyagának tulajdonságairól. Bemutatom dobozokban a lévő közegek szén-dioxiddal való dúsításának kémiai háttérét, a gáz vízben való oldhatóságának jellemzőit és az ebből fakadó nyomásváltozást is vizsgálom. Kitérek arra is, hogy milyen feszültségek ébrednek a dobozban belső nyomás hatására. A dolgozat keretén belül továbbá elvégeztem egy nyomáspróbás mérést, amely során meghatároztam mekkora nyomásterhelést viselnek el a vizsgált alumínium edények. Az információgyűjtés és mérés további vizsgálatoknak ad utat, mint például szén-dioxid abszorpció és deszorpció folyamatainak elemzése és ezen folyamatok okozta parciális nyomásnövekedésre koncentrálva azon körülmények, illetve paraméterek meghatározása, amelyek a palackok spontán kinyílásához vezethetnek.

Eredetiség nyilatkozat

"Alulírott Tóth Botond, a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Miskolc, 2023. 05. 04.



.....
a hallgató aláírása

A konzulens nyilatkozata

Alulírott, Dr. Petrik Máté a Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézetének oktatója „**Alumínium italosdobozok szilárdsági vizsgálata**” című TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem.

Miskolc, 2023.05.04



.....
a konzulens aláírása

Tartalom

Ábrajegyzék.....	7
Bevezetés	8
1. Üdítő palack, mint nyomástartó edény	9
2. Gyártástechnológia.....	11
2.1. A doboztest gyártása.....	11
2.2. A tető gyártása	12
2.3. A két elem csatlakozása.....	13
3. Az edény alapanyagának mechanikai tulajdonságai	14
3.1. A doboztest alapanyaga: Al 3104 H19	14
3.2. A doboz tető alapanyaga Al 5182 H38.....	14
4. A dobozok újrahasznosíthatósága	16
4.1. Az újrahasznosítás előnyei:	16
4.2. Újrahasznosítási arányok.....	16
5. Nyomásnövekedés okai	17
5.1. Az ital gyártása	17
5.1.1. Szénsavasítás	17
5.1.2. Szénsavasító eljárások	18
5.1.3. Töltés és csomagolás	19
5.2. A szén-dioxid kémiaja a vízben	20
5.3. A dobozban keletkező nyomások.....	21
5.4. A fejtér nyomása a hőmérséklet függvényében.....	21
6. A dobozban ébredő feszültségek	25
7. Mérések	28
7.1. A befogókészülék:	28
7.2. Mérési eredmények	29
8. Összefoglalás	33
Irodalomjegyzék	34

ÁBRAJEGYZÉK

1. ÁBRA PI JELÖLÉS [1].....	9
2. ÁBRA DOBOZ KIALAKÍTÁSA [5].....	11
3. ÁBRA KEZDŐ MÉLYHÚZÁS	11
4. ÁBRA A DOBOZ TEST KIALAKÍTÁSÁNAK FOLYAMATA	12
5. ÁBRA TETŐ BEKARCOLÁSA	13
6. ÁBRA ZÁRÁS B) [5].....	13
7. ÁBRA ZÁRÁS A) [5]	13
8. ÁBRA HENRY TÖRVÉNYE CO ₂ -VÍZ RENDSZERRE A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN	23
9. ÁBRA AXIÁLIS FESZÜLTSG SZEMLÉLTETÉSE	25
10. ÁBRA TANGENCIÁLIS FESZÜLTSG SZEMLÉLTETÉSE	25
11. ÁBRA EGYEDI BEFOGÓKÉSZÜLÉK	28
12. ÁBRA MÉRÉSRE ELŐKÉSZÍTETT DOBOZ	28
13. ÁBRA JELLEMZŐ NYITÁS ÉS ALAKVÁLTOZÁS II.	29
14. ÁBRA JELLEMZŐ NYITÁS ÉS ALAKVÁLTOZÁS I.	29
15. ÁBRA JELLEMZŐ NYITÁS ÉS ALAKVÁLTOZÁS III.....	29
16. ÁBRA JELLEMZŐ NYITÁS ÉS ALAKVÁLTOZÁS IV.....	29
17. ÁBRA ELTÉRŐ NYÍLÁS II.....	30
18. ÁBRA ELTÉRŐ NYÍLÁS I.	30
19. ÁBRA AZ ELTÉRŐ NYÍLÁSÚ MINTÁHOZ TARTOZÓ IDŐ-NYOMÁS DIAGRAM	30
20. ÁBRA 9. MÉRÉSHEZ TARTOZÓ IDŐ-NYOMÁS DIAGRAM.....	31
21. ÁBRA 5. MÉRÉSHEZ TARTOZÓ IDŐ-NYOMÁS DIAGRAM.....	31
1. TÁBLÁZAT AL 3104 H19 ANYAGTULAJDONSÁGAI [7] [8] [9]	14
2. TÁBLÁZAT AL 3104 H19 ÖSSZETÉTELE [10] [9] [8]	14
3. TÁBLÁZAT AL 5182 H38 ANYAGTULAJDONSÁGAI [7] [11]	14
4. TÁBLÁZAT AL 5182 H38 ÖSSZETÉTELE [10] [11].....	15
5. TÁBLÁZAT ALUMÍNIUM ITALOSDOBOZ ÚJRAHASZNOSÍTÁSI ARÁNY 2003	16
6. TÁBLÁZAT SZÉNSAVASSÁG SZINTJE KÜLÖNBÖZŐ ITALTÍPUSOKBAN.....	17
7. TÁBLÁZAT MAXIMÁLIS NYOMÁSÉRTÉKEK.....	32

„A lényeg (...) nem az, hogy mennyi időt töltesz az egyes dolgokkal. Nem. Az energia számít, amit belefektetsz.”

(Michael Crawley)

BEVEZETÉS

A mérnöki gyakorlatban gyakran találkozhatunk nyomástartó berendezésekkel, melyek magas nyomáson sokszor veszélyes anyagokkal üzemelnek azonban, nem csak az ilyen területeken fordulnak elő a légköritől magasabb nyomások. Sokak otthonában megtalálhatóak a kis vízművek, de nem is kell különböző gépekre gondolni elég csak a boltok polcain is fellelhető szénsavas üdítőket venni, melyekben szintén túlnyomás uralkodik.

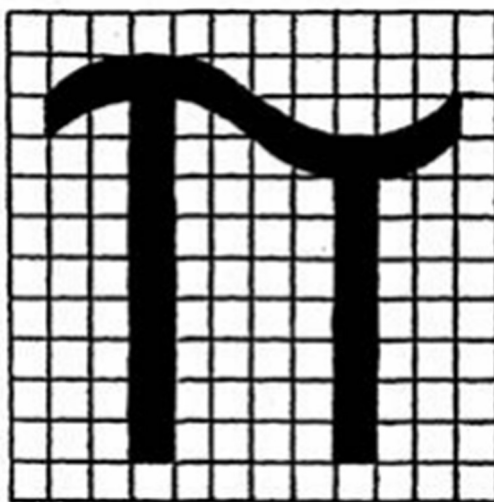
Az ilyen üdítőket általában alumíniumból készült dobozokba vagy PET palackokba töltik. Dolgozatomban az előbbi esettel foglalkozom, hiszen úgy gondolom, hogy az alumínium csomagolóanyag 100%-os, minőségromlás nélküli újrahasznosíthatósága fontos tényező a fenntarthatóság szempontjából, ezért relevánsabbnak tartom a vizsgálatát. A munkám irodalomkutatási része kiterjed a dobozok kialakítására gyártástechnológiájára és vegyipari gépész hallgató szemmel nyomástartó berendezésként való vizsgálatára. Továbbá utánajártam a beléjük kerülő ital gyártástechnológiájának és a szén-dioxiddal való dúsítás kémiai hátterének és ennek módjainak, valamint a CO₂-víz rendszerekben való oldhatóságának jellemzőinek, amelyekből a dobozon belüli nyomásváltozás fakadhat. Ennek okán saját mérések során meghatározom mekkora nyomást viselnek el az ilyen palackok. Ezzel utat nyitva további vizsgálatoknak például a dobozban lévő fázisok és a nyomás kapcsolatának, valamint a dobozban ébredő feszültségek meghatározásának.

1. ÜDÍTŐS PALACK, MINT NYOMÁSTARTÓ EDÉNY

A bevezetőben említett nézőpont szerint, ha nyomástartó berendezésként tekintünk az üdítő dobozokra akkor számba kell venni az ezekre vonatkozó szabályozásokat.

Ezen Európai Unió szabályozások a PED (Pressure Equipment Directive) és a TPED (Transportable Pressure Equipment Directive) az előbbi az állandó helyre telepített berendezésekre míg az utóbbi a szállítható berendezésekre vonatkozik. A vizsgált terméket a TPED alá lehetne inkább sorolni, így ezzel foglalkozom most.

Az Európai Parlament és a Tanács 2010/35/EU irányelve a szállítható nyomástartó berendezésekről 2010 június 16-ától van érvényben, melyet 2011-ben ültettek át a magyar jogszabályi rendszerbe rendelet formájában, amely a „29/2011. (VIII. 3.) NGM rendelet a szállítható nyomástartó berendezések biztonsági követelményeiről és megfelelőség-tanúsításáról” néven szerepel a magyar jogtárban. A rendelet hatálya kiterjed az új szállítható nyomástartó berendezésekre, ezek időszakos vizsgálatára, közbenső vizsgálatára és soron kívüli ellenőrzésükre és használatukra, valamint a megfelelőségük újraértékelésére. Meghatározza a gazdasági szereplők, úgymint a gyártók, meghatalmazott képviselők, importőrök, forgalmazók, tulajdonosok és üzemeltetők kötelezettségeit. A rendeletnek megfelelő berendezéseket megfelelőségi jelöléssel kell ellátni, amely a Pi-jelölés: [1]



1. ábra Pi jelölés [1]

Egy ehhez kapcsolódó rendelet a „35/2014. (XI. 19.) NGM rendelet egyes szállítható nyomástartó berendezések üzemeltetésével kapcsolatos műszaki biztonsági követelményekről és a Gázpalack Biztonsági Szabályzatról” „1. § (1) E rendelet hatálya kiterjed a 2004. május 1-jét megelőzően Magyarországon gyártott és forgalomba hozott, acél, alumínium és alumíniumötvözetű, hegesztett kivitelű ötvözetlen acél, alumínium és alumíniumötvözetű,

fémről vagy kompozit szerkezettel (a külső felületen bevonattal erősített, fém vagy nemfém béltesttel) készült gázpalackok üzemeltetésére, javítására, átalakítására, töltésére, töltetváltóztatására, szállítására, azonosítására, megjelölésére, időszakos ellenőrzésére, selejtezésére és a gázpalackok szerelvényeinek alkalmazására. [2]

(2) E rendelet hatálya nem terjed ki

a) a legfeljebb 0,22 liter űrtartalmú palackra,

b) a legfeljebb 2 liter űrtartalmú, folyadékkal részben töltött palackra (például aeroszol),

...”

Ez alapján és a 29/2011. (VIII. 3.) NGM rendeletben meghatározott definíció szerint (szállítható nyomástartó berendezés: az ADR, a RID és az ADN 2. osztályába tartozó gázok - az osztályozási kódjukban a „6” vagy a „7” számjegyet tartalmazó gázok és tárgyak kivételével -, valamint az e rendelet 1. mellékletben felsorolt, más osztályba tartozó veszélyes anyagok szállítására használt nyomástartó tartály (beleértve az UN 2037 tétel alá tartozó gázpatronokat is) az ADR, a RID és az ADN 6.2. fejezetében foglaltak értelmében, továbbá a tartány, battériás jármű, battériás vasúti kocsik és többtelemes gázkonténer (MEG-konténer) az ADR, a RID és az ADN 6.8. fejezetében foglaltak értelmében, beleértve ezek szelepeit és egyéb tartozékait [1]) nem sorolandó a szállítható nyomástartó edények közé az italosdoboz, valamint kis űrtartalma és közegének veszélyessége szerint sem.

Véleményem szerint helyes az, hogy nem soroljuk a veszélyes és engedélyezett szükséges nyomástartó berendezések közé, hiszen ilyen edényekben emberi fogyasztásra szánt italokat töltenek tehát a közeg nem veszélyes és térfogatát tekintve is igazán kis jelentőségű termékekről van szó.

2. GYÁRTÁSTECHNOLÓIA

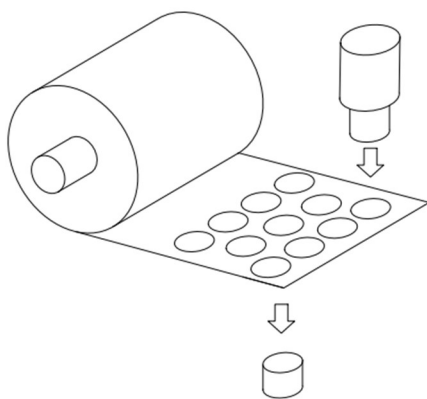
Manapság az italos dobozok többsége (2-Pc, two piece) két részből álló nyomást viselő alumínium doboz, mely elnevezés a kialakításából adódik, ugyanis áll egy doboztestből és egy tetőből. A két rész különböző alumínium ötvözetből is készül, míg a tető egy lapos elem, addig a doboz test egy hengeres héj, így a geometria miatt a tetőnek ellenállóbbnak kell lennie (lásd 2. Fejezet). A test általában a 3104 H19 jelű alumínium ötvözetből készül, míg a tető az 5182-es jelűből. [3] [4]^[10] Mindkét alapanyag egy öntvény gyártásával kezdődik, amelyet körülbelül 76 cm vastagságúra öntenek, majd vékony lemezre hengerelnek. [5]



2. ábra Doboz kialakítása [5]

2.1. A doboz test gyártása

A doboz test tényleges gyártásának első lépése az, hogy a lemezből kör alakú elemeket vágnak, amely a doboz alját és oldalait képezi. Némi anyag szükségszerűen elveszik az egyes körök

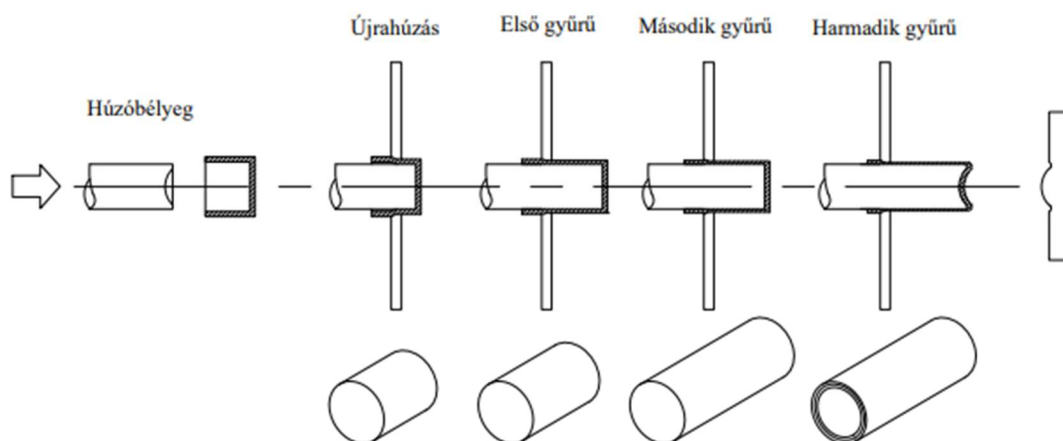


3. ábra Kezdő mélyhúzás

között, így a lemez körülbelül 12-14%-a veszendőbe megy, de hulladékként újra felhasználható. [6]

Miután a kör alakú nyersdarabot kivágták, abból egy lépésben csésze alakot formálnak mélyhúzással. [6]

Az első húzás eredményeként kapott kis csésze ezután átkerül egy második gépbe. Egy persely pontosan a helyén tartja a darabot, és a húzóbélyeg egy gyors ütéssel kisebb átmérőjűre húzza, a csésze magassága ezzel egyidejűleg nő. A szerszám ezután a csészét három húzógyűrűn keresztül alakítja, amelyek megnyújtják és vékonyítják a csésze falait. Ez az egész művelet – az újra húzás és alakítás – egyetlen folyamatos ütési mozdulattal történik, amely mindössze egyötöd másodpercet vesz igénybe. Az ütés végén egy ellendarabra fut a gyártmány, amitől az alja befelé domborodik. Ez a forma ellensúlyozza a dobozban lévő szénsavas folyadék nyomását. A doboz alja és alsó falai egy kicsit vastagabbak is, mint a felső falak, a nagyobb szilárdság érdekében. [6]

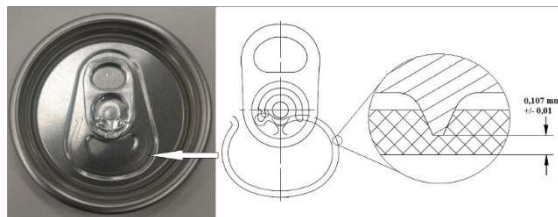


4. ábra A doboz test kialakításának folyamata

2.2 A tető gyártása

A fedél kissé eltérő ötvözetből készül, mint a doboz. A doboz aljának befelé domborulata segít elviselni a benne lévő folyadék által kifejtett nyomást, de a lapos fedélnek merevebbnek és erősebbnek kell lennie, mint a domborított fenéknek, ezért olyan alumíniumból készül, amely több magnéziumot és kevesebb mangánt tartalmaz, mint a doboz alapanyaga. Ez erősebb fém eredményez, de a fedél így is jóval vastagabb, mint a köpeny. A fedél közepét enyhén felfelé nyújtják és szegeccsé húzzák. A nyitófület, egy külön fémdarabból álló elemet, a szegecs alá

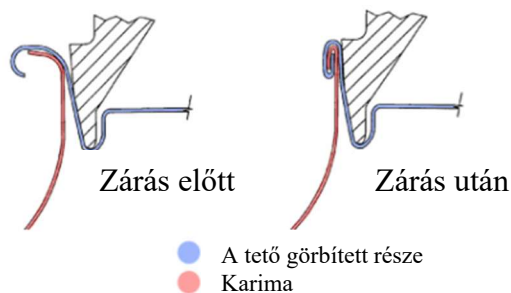
helyezik, és azzal rögzítik. Ezután a fedelet bekarcolják, hogy amikor a fogyasztó meghúzza a fület, megfelelő nyílás keletkezzen a tetőn. [6]



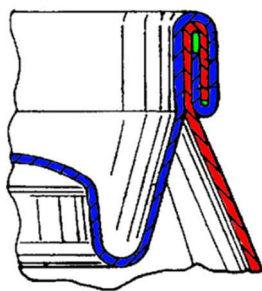
5. ábra Tető bekarcolása [19]

2.3. A két elem csatlakozása

Mindkét elemen egy-egy fül kerül kialakításra, mely füleket záráskor egymásba hajtanak és közéjük tömítő anyagot helyeznek, így nem tud távozni a doboz tartalma és a nyomás megtartására is alkalmassá teszi. [5]



6 ábra Zárás a) [5]



- Tető
- Doboz test
- Tömítő anyag

7. ábra Zárás b) [5]

3. AZ EDÉNY ALAPANYAGÁNAK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI

3.1. A doboztest alapanyaga: Al 3104 H19

Sűrűség	2,72 g/cm ³
Keménység (Brinell)	78
Folyáshatár	260 MPa
Szakítószilárdság	290 MPa
Szakadási nyúlás	4 %
Young modulus	69 GPa
Poisson tényező	0,34
Csúsztató rugalmassági modulus	26 GPa

1. Táblázat Al 3104 H19 anyagtulajdonságai [7] [8] [9]

Összetétele

Alumínium Al	Mangán Mn	Magnézium Mg	Vas Fe	Szilícium Si	Réz Cu	Cink Zn
95-98,4%	0,8-1,4%	0,8-1,3%	0-0,8%	0-0,6%	0,05-0,25%	0-0,25%

2. Táblázat Al 3104 H19 összetétele [10] [9] [8]

Az előbbi táblázatokban a doboztest alapanyagának tulajdonságai és összetétele látható. Ez az ötvözet egy közepesen szilárd alumínium ötvözet, amely magnéziummal és mangánnal hasonló arányban van ötvözve. Ez a két ötvöző növeli a keménységét és merevségét, valamint javítja a korrózióállóságát, az utóbbi kedvező tulajdonsága miatt előszeretettel alkalmazzák az élelmiszeriparban.

3.2. A doboz tető alapanyaga Al 5182 H38

Sűrűség	2,65 g/cm ³
Keménység (Brinell)	91
Folyáshatár	300 MPa
Szakítószilárdság	350 MPa
Szakadási nyúlás	10 %
Young modulus	68 GPa
Poisson tényező	0,33
Csúsztató rugalmassági modulus	25 GPa

3. táblázat Al 5182 H38 anyagtulajdonságai [7] [11]

Összetétele

Alumínium Al	Mangán Mn	Magnézium Mg	Vas Fe	Szilícium Si	Réz Cu	Cink Zn
93,2-95,8%	0,2-0,5%	4,0-5,0%	0-0,35%	0-0,2%	0-0,15%	0-0,25%

4. Táblázat Al 5182 H38 összetétele [10] [11]

Ez a fajta ötvözet erősebben ötvözött magnéziummal, így nagyobb a folyáshatára és szakítószilárdsága, amely tulajdonsága miatt alkalmazzák a doboztetők gyártásához. A két ötvözet többi tulajdonsága közel azonos értékű.

A két alapanyag közül az 5182-es jelű ötvözet jobb minőségű, míg a 3104-es jelű valamivel gyengébb. Az előbbiből, amely egy drágább anyag, kevesebb kerül felhasználásra, míg az utóbbiból több, hiszen a doboztesthez több anyag szükséges. Nagy mennyiségű gyártás esetén ez a kis különbség is számottevő költséget jelent egy-egy vállalatnak.

4. A DOBOZOK ÚJRAHASZNOSÍTHATÓSÁGA

Az alumínium dobozok újrahasznosítása, mind gazdaságilag és ökológiailag előnyös, hiszen minőségromlás nélkül könnyen újrafelhasználható és az alumíniumhulladék jelentős értéket képvisel. Mivel ennek a hulladéknak az újra olvasztása csupán 5%-a annak az energiafelhasználásnak, amely szükséges az új alumínium bauxitból való előállításához, ezért régóta a gyakorlat része, hogy újra és újra az olvasztókemencékbe kerülnek már nem használt alumínium tárgyak. [12]^[OBJ]

Specifikusan az italos dobozok újrahasznosításakor felmerülhet a kérdés, hogy ha különböző ötvözetből készül a fedél és a doboztest, ahogy ismertettem korábban, akkor valóban gazdaságos-e, ha ezt szét kell válogatni. Valójában nem kell alkatrészeire bontani a dobozokat, hiszen a fő ötvözőik megegyeznek, így a kohászatokban csak finomhangolni kell az olvadákokat. [12]

4.1. Az újrahasznosítás előnyei:

- A gyártási folyamat energiafelhasználásának 95%-át meg lehet spórolni és ezzel arányosan a üvegházhatást okozó gázok kibocsátása is csupán 5%-a az új gyártásnak. [12]
- 1 kg alumínium újrahasznosításával körülbelül 8 kg bauxit és 4 kg vegyipari alapanyag, illetve 14 kWh villamos energia takarítható meg. [12]
- Csökkenthető az alumíniumhulladék a szeméttelpeken. [12]
- A hulladéklerakók ártalmatlanítási költségei is csökkennek. [12]

4.2. Újrahasznosítási arányok

Ország	Franciao.	Görögo.	Spanyolo.	Egyesült Királyság	Olaszo.	Ausztria
Újrahasznosítási %	33	36	39	42	44	50
Ország	Töröko.	Németo.	Dánia	Svédó.	Svájc	Finno.
Újrahasznosítási %	60	71	82	85	91	95

5. táblázat Alumínium italosdoboz újrahasznosítási arány 2003 [12]

5. NYOMÁSNÖVEKEDÉS OKAI

5.1. Az ital gyártása

5.1.1. Szénsavasítás

A karbonizáció a folyadék szén-dioxiddal való dúsításának folyamata. A szénsavasodás során a folyadék hőmérsékletének alacsonynak kell lennie, mivel a szén-dioxid oldhatósága a hőmérséklet csökkenésével növekszik. Az italba oldott gáznak mentesnek kell lennie a mikroorganizmusoktól és porrészecskéktől. A szénsavasság mértéke az ital típusától és az érzékelt íztől függően eltérő (5. táblázat). Például a gyümölcsitalok alacsony szénsavtartalmúak a hígításra szánt italokhoz képest. [13]

A karbonizáció során szén-dioxidot adnak az italhoz egy edényben, ahol a gáz halmazállapotú szén-dioxidot nyomás alatt keverik a szabályozott hőmérsékletű italkeverékkel. Az ital áramlási sebessége és a CO₂ nyomása jelentős tényező a szükséges szénsavassági szint eléréséhez. Minél nagyobb az ital alkotta folyadékfelszín, annál nagyobb lesz a CO₂ oldhatósága. Amikor a szén-dioxid bekerül az italba, a CO₂-buborékok elkezdnek emelkedni a felszínre, amelynek következtében a gáz egy része feloldódik az italban. A CO₂ fel nem oldott része kiáramlik az italból és kitölti az ital feletti teret. Az egyensúly a gáz felszabadulási sebessége és a gáz italban való oldódási sebessége között van. Az egyensúlyi nyomás azonban a hőmérséklet növekedésével vagy a nyomás csökkenésével ingadozik. Ez az egyensúly a doboz vagy palack kinyitásával felbomlik, és a gáz spontán felszabadulását okozza, ezt a folyamatot habzásnak nevezik. [13]

Az ital típusa	Szénsavassági szint
Limonádék és kólák	4-10 g/l
Maláta alapú italok	0-2 g/l
Energiaitalok	1-4 g/l
Sportitalok	0-1 g/l

6. Táblázat Szénsavasság szintje különböző italtípusokban [13]

A szénsavasító tartályok hűtőrendszert tartalmaznak, így a CO₂-ot hűtési hőmérsékleten adják az italhoz a maximális oldhatóság érdekében. Ez a rendszer több hőcserélőt is tartalmaz, amelyeken keresztül a hűtőfolyadék kering. [13]

5.1.2. Szénsavasító eljárások

Az üdítő szénsavasítása többféle módszerrel végezhető, amelyek mindegyike eltérő elveken alapul. Az alábbiakban öt szénsavasító módszert ismertetek, amelyeket gyakran használnak az élelmiszeriparban.

1. Közvetlen szénsavasítás: Ebben a módszerben a szénsavas gázt közvetlenül adagolják a folyadékba. Ehhez egy speciális fűvókát használnak, amelyen keresztül a gázt a folyadékba vezetik. Az adagolt szénsavas gázok azonnal oldódnak a folyadékban, így nagyon hatékony módszer. Azonban az ilyen módon szénsavasított italok nem túl tartósak, mivel a szénsavas gázok nagyon könnyen távoznak a folyadékból. [14]
2. Membrános szénsavasítás: Ebben a módszerben a szénsavas gázt egy membránon keresztül juttatják a folyadékba. A membrán részben áteresztő, így a szénsavas gázok át tudnak jutni a folyadékba, de a membrán anyaga meggátolja a gázok távozását. Ez a módszer lehetővé teszi a pontosan szabályozott szénsavasítást, valamint az eredményül kapott italok hosszabb ideig tartósak maradnak. [14]
3. Vízeséses szénsavasítás: Ebben a módszerben a folyadékot magasból leeresztik, és a szénsavas gázt a vízbe permetezik. A szénsavas gázok a nagy nyomás miatt oldódnak a folyadékban, és buborékos italokat eredményeznek. Ez a módszer gyors és hatékony, azonban nagy berendezésekre van szükség. [14]
4. Karbonizátorok: A karbonizátorokban a folyadékot egy lezárt tartályba helyezik, és a szénsavas gázt a tartályba adagolják. A tartályban a szénsavas gázok a folyadékba oldódnak, és buborékos italt eredményeznek. A karbonizátorok lehetővé teszik a nagy mennyiségű szénsavasított italok előállítását, és az eredményül kapott italok hosszabb ideig tartósak maradnak. [14]
5. Mojonnier-eljárás: Ebben a módszerben a folyadékot egy henger alakú tartályban helyezik el, amelynek alján egy nyílás található. A szénsav gázt a tartályba vezetik, és a nyíláson keresztül áramlik a folyadékba. A nyomás növelésével a folyadékban oldódó szénsav mennyisége is növekszik. Az eredményül kapott ital buborékos és kellemesen szénsavas. A Mojonnier-eljárás lassabb, mint a korábban említett módszerek, de előnye, hogy olcsóbb és kevésbé bonyolult a kivitelezése. [14]

Minden szénsavasítási módszernek megvannak a saját előnyei és hátrányai, és az üdítőgyártók választják ki az adott céljuknak megfelelő módszert. A karbonizátorok és a membrános szénsavasítás például nagy mennyiségű termelést tesznek lehetővé, míg a közvetlen szénsavasítás gyorsabb és egyszerűbb módszer. A vízeséses szénsavasítás drága, de nagyon hatékony módszer, és a Mojonnier-eljárás lehetővé teszi az olcsó és hatékony szénsavasítást.

A szénsavasítás nem csupán a szén-dioxid hozzáadása az italokhoz. Ez a folyamat az ízt is átalakítja azáltal, hogy a szénsav képződésének köszönhetően éles, csípős ízt ad. A szénsavnak enyhe antibiotikus hatása is van, amely megakadályozza a baktériumok növekedését. [13]

5.1.3. Töltés és csomagolás

Az előírásoknak megfelelően elkészített szénsavas üdítőitalt palackokba vagy dobozokba töltjük. Kezdetben vastag falú, újrafelhasználható üvegpalackokat használtak. Az utóbbi években az üvegpalackokat PET-palackok váltják fel, amelyek vékony falúak és könnyebben kezelhetők a feldolgozás és tárolás során. A töltés a gravitáció hatására történik, melyben az áramlási sebesség a töltendő tartály és a töltőmedence közötti különbségtől függ. Az ital áramlási sebessége a fejtéri nyomás növekedésével nő. Általában kétféle töltési módot alkalmaznak: gravitációs töltés és ellennyomásos töltés. Napjainkban térfogati és kapacitásszondával rendelkező töltőket is használnak. Az utóbbi kapacitásszondával ellenőrzi azt a pontot, ahol a töltést le kell állítani. Az előbbivel, azaz a térfogati ellenőrzéssel pontos mennyiségű szénsavas italt juttatnak a tartályba. [13]

A szénsavas üdítőitalokat különböző csomagolóanyagokba és különböző méretekben csomagolják, a termék jellemzőitől, a megcélzott vásárlóktól és a földrajzi körülményektől függően. A termék minőségének fenntartása és a pontos töltés a töltési folyamat elsődleges követelménye. Különböző tényezőket kell figyelembe venni a töltési folyamat során: [13]

- I. Hőmérséklet-változások – Magas hőmérsékleten a CO₂ oldhatósága csökken, és a gáz kilép az italból, lapos ízt adva.
 - II. Az ital összetevői, különösen a gázok – Mivel az üdítőitalok oldott szén-dioxidot tartalmaznak, a lehető legnagyobb gondossággal kell eljárni, hogy a töltés során a CO₂ ne távozzon az oldatból.
 - III. A szénsavas ital folyási tulajdonságai.
 - IV. A tartály alakja és mérete – A megtöltendő tartály alakja és mérete nagyon döntő szerepet játszik. A töltés során a szénsavas ital a lehető legmagasabb ponton kerül be, majd az edény alja felé halad. A sima kontúrú palack elősegíti az ital gyengéd folyását.
- [13]

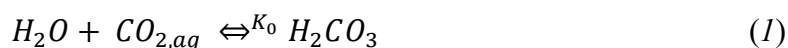
A szénsavas ital töltése a következő lépésekből áll:

- I. **Vákuum létrehozása:** A tárolóedényben (pl. üdítő palack) először vákuumot hoznak létre. Ez a lépés a szénsavasítás előtt szükséges, mert segít eltávolítani a levegőt és a vízpárát a palackból. Ez nagyon fontos, mert a szénsavas italoknál ez a lépés segít, hogy

- a CO₂ ne lépjen reakcióba az oxigénnel, ami csökkentheti a szénsavasodás hatékonyságát.
- II. **Gázöblítés:** Ezt követően a palackot gázzal öblítik át, hogy eltávolítsák a maradék szennyeződéseket és a levegőt. A gáz lehet nitrogén vagy már maga a CO₂.
- III. **Gázzal történő nyomásterhelés:** Ezután a palackot CO₂ gázzal töltik meg, amely a folyékony italban oldódik. A CO₂ gázzal történő töltés során a palackban lévő nyomás emelkedik, amely a szénsavasodást okozza.
- IV. **Tároló edény töltése:** Miután a palackot megtöltötték a szénsavas itallal, az elzáró dugót azonnal a palackra helyezik, hogy a nyomás a palackban maradjon.
- V. **Töltési szint korrekció:** Ezután ellenőrzik, hogy a palackban a megfelelő mennyiségű ital van-e. Ha nem, akkor korrigálják a töltési szintet vagy selejtezik a terméket.
- VI. **Az ital pihentetése a habzás elkerülésének érdekében:** Az utolsó lépés az ital pihentetése, hogy a palackban lévő CO₂ feloldódhasson a folyadékban, és hogy az ital ne habosodjon fel. A pihentetési idő általában 24 óra, de a pontos időtartam a termék típusától függően változhat.

5.2. A szén-dioxid kémiája a vízben

Vízben való oldódáskor a szén-dioxid három kémiai reakción megy keresztül, amelyekben négy kémiai csoport vesz részt: szén-dioxid (CO₂), szénsav (H₂CO₃), bikarbonát ion (HCO₃⁻) és karbonát ion CO₃²⁻ [15]



Az (1) reakciót gyakran CO₂ hidratációs reakciónak nevezik. A nagyon alacsony $K_0 \approx 7 \times 10^{-7}$ értékből az következik, hogy a CO_{2,aq} koncentrációja nagymértékben meghaladja a H₂CO₃-ét; azonban ezeket a semleges anyagokat gyakran szénsavként (H₂CO₃) emlegetik. A vizes (tisztá víz) és a gázfázis közötti ideális egyensúlyi feltételt alacsony- mérsékelt nyomáson Henry törvénye teljesíti: [15]

$$\frac{C_{H_2CO_3}^*}{P_{CO_2}} = H_{CO_2,0} = \frac{C_{H_2CO_3}^*}{\gamma_{CO_2} P} \quad (4)$$

ahol $H_{CO_2,0}$ a Henry-féle CO₂-együttható tiszta vízben (mol L⁻¹ atm⁻¹), P_{CO_2} a parciális nyomása a szén-dioxidnak a vizes fázis felett, és a $C_{H_2CO_3}^*$ a fizikailag oldott CO₂ és H₂CO₃

koncentrációja a gázfázisban lévő P_{CO_2} -vel egyensúlyban. A 2. és 3. reakció egyensúlyi és disszociációs állandói (K_1 és K_2) a következőképpen vannak kifejezve: [15]

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} \quad (5)$$

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad (6)$$

Ha egy vizes oldatban jelentős mennyiségű OH^- ion van jelen, a CO_2 a következő módon reagálhat OH^- -nal: [15]



Ezt a reakciót hidroxiláció reakciónak nevezik, és a pH érték növekedésével (7,0 felett) egyre nagyobb jelentőséget kap, és 8,5 feletti pH-nál dominál. [15]

5.3. A dobozban keletkező nyomások

A nyomás egy zárt szénsavas ital fejtérében, mielőtt nyomás alá helyeznék, a P_{TOT} , ami a P_{CO_2} és a légköri nyomás kombinációja, P_{ATM} , a fejtérben: [16]

$$P_{TOT} = P_{ATM} + P_{CO_2} \quad (8)$$

Ez a fejtéri nyomás azonban kifejezhető az atmoszférikus és a túlnyomás (P_G) összegeként is:

$$P_{TOT} = P_{ATM} + P_G \quad (9)$$

A nyomásfokozó folyamat lényegében kiszorítja az összes levegőt a fejtérből. Ennek oka a CO_2 magas alapnyomása és a közeg töltését követő pezsgés, mely során további szén-dioxid szabadul fel a folyadékból és így kiszorul a levegő a dobozból. Feltételezve, hogy ilyen módon az összes levegő kiszorult, így a $P_{ATM}=0$, tehát láthatjuk a (8)-as és (9)-es összefüggések alapján, hogy a P_G , P_{CO_2} és P_{TOT} egyenlőek lesznek egymással. [16]

5.4. A fejtér nyomása a hőmérséklet függvényében

Annak a feltételezésével kezdjük, hogy hogyan is változik a P_{CO_2} egy lezárt szénsavas üdítővel teli edényben a hőmérséklet változásával. Leegyszerűsítő feltételezéseket fogunk tenni, amelyek szerint mindegyik szénsavas üdítőital csak $CO_{2(aq)}$ -t és vizet tartalmaz a folyékony fázisban, továbbá; azt is feltételezzük, hogy a fejtér gáz- és folyadékfázisai ideális esetként

viselkednek. Liger-Belair nyomán feltételezzük, hogy az ilyen edények állandó V gázfejtérfogatúak. A CO_2 összes mol mennyisége az edényen belül így: [16]

$$n_{tot} = n(g) + n(aq) \quad (10)$$

ahol:

$n(g)$ – a CO_2 mol mennyisége a fejtérben

$n(aq)$ – az italban oldott CO_2 mol mennyiség P_{CO_2} nyomáson és T hőmérsékleten

Az oldott CO_2 mol mennyisége a Henry-féle módszerrel határozható meg:

$$n(aq) = k_H(T) P_{\text{CO}_2} m_{\text{H}_2\text{O}} \quad (11)$$

ahol:

$m_{\text{H}_2\text{O}}$ – az italban lévő víz tömege

$k_H(T)$ – Henry-féle konstans ($\text{mol/kg} \cdot \text{bar}$)

A Henry-féle konstans meghatározható a hőmérséklet függvényében: [16]

$$k_H(T) = \left(\exp \left[a_1 + a_2 T + \frac{a_3}{T} + \frac{a_4}{T^2} \right] \right)^{-1} \quad (12)$$

Ahol

$$a_1 = 14$$

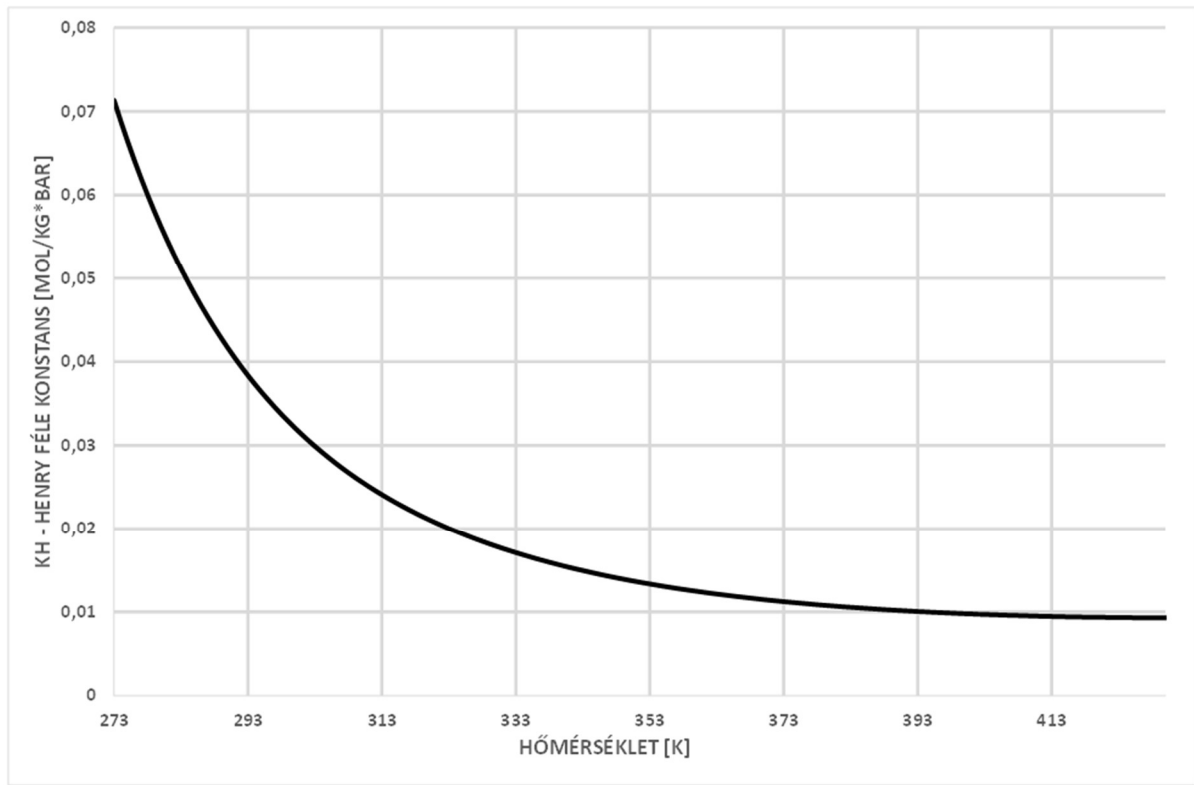
$$a_2 = -0,013341 \text{ K}^{-1}$$

$$a_3 = -558,98 \text{ K}$$

$$a_4 = -422577 \text{ K}^2$$

A $k_H(T)$ hőmérsékletfüggése számítható a (12) -es számú összefüggésből, amely a 8-as diagramon van ábrázolva. Mindkét metódusból látható, hogy kevesebb szén-dioxid van oldott

állapotban az italban magasabb hőmérsékleteken. Ha az edény le van zárva és a CO₂ felszabadul az italból a fejtérbe, ezzel növelve a nyomását, vagyis a P_{CO2}-t [16]



8. ábra Henry törvénye CO₂-víz rendszerre a hőmérséklet függvényében

A gázfázisban lévő CO₂ mol mennyisége a fejtérben az ideális gáztörvény segítségével határozható meg: [16]

$$n(g) = \frac{P_{CO_2} V}{RT} \quad (13)$$

A (4) -es és (6) -os összefüggéseket a (3) számúba behelyettesítve:

$$n_{TOT} = \frac{P_{CO_2} V}{RT} + k_H(T) P_{CO_2} m_{H_2O} = P_{CO_2} \left[\frac{V}{RT} + k_H(T) m_{H_2O} \right] \quad (14)$$

Ahogy korábban állítottuk, amikor az edényt melegítjük egy új T₂ hőmérsékletre, gáz szabadul fel a folyadékfázisból és belép a fejtérbe, ezzel növelve annak nyomását. Azonban mivel a doboz továbbra is le van zárva az n_{TOT} állandó marad: [16]

$$n_{tot} = n_1(g) + n_1(aq) = n_2(g) + n_2(aq) \quad (15)$$

ahol a 1 és 2 alsóindexek a kezdő és végállapotra vonatkoznak. A (14)-es egyenletet behelyettesítve a (15)-ösbe mindkét esetben (végállapot-melegebb, kezdőállapot-hidegebb):

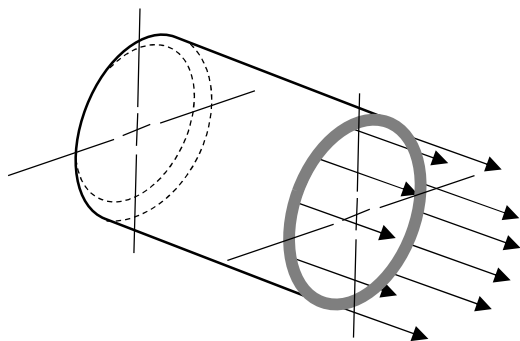
$$P_1 \left[\frac{V}{RT_1} + k_H(T_1)m \right] = P_2 \left[\frac{V}{RT_2} + k_H(T_2)m \right] \quad (16)$$

Az egyértelműség és olvashatóság kedvéért a H_2O és CO_2 indexeket elhagytuk rendre az m és P tényezőkről. Ha a (9)-es egyenletet kifejezzük P_2 -re akkor egy olyan összefüggést kapunk, amellyel számítható a fejtér nyomása (P_2) a T_2 hőmérséklet és a kezdő nyomás és hőmérséklet ismeretében(P_1, T_1): [16]

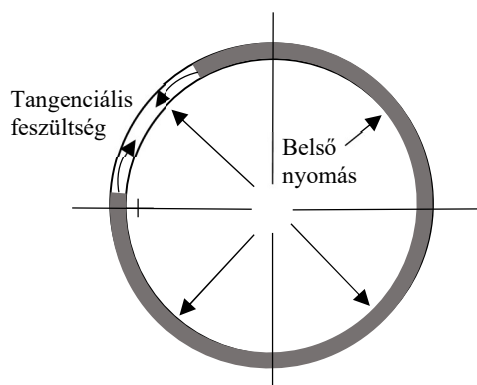
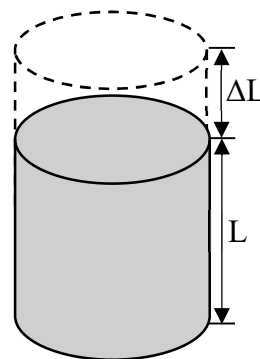
$$P_2 = P_1 \frac{\left[\frac{V}{RT_1} + k_H(T_1)m \right]}{\left[\frac{V}{RT_2} + k_H(T_2)m \right]} \quad (17)$$

6. A DOBOZBAN ÉBREDŐ FESZÜLTSÉGEK

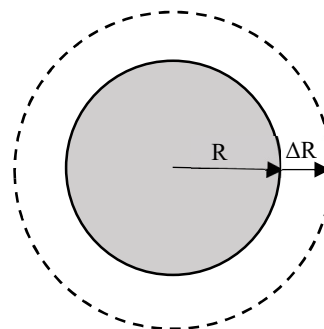
A dobozt vékony falú nyomástartó edényként elemezhetjük. Egy vékony falú nyomástartó edényben, két jelentős feszültség ébred membránfeszültségi állapotot tekintve: axiális feszültség és tangenciális feszültség. Az axiális feszültség az edényfenekekre ható belső nyomás eredménye. A tangenciális feszültség szintén a belső nyomás hatása, amely hajlamos megnövelni a doboz területét. [17] [18]



9. ábra Axiális feszültség szemléltetése



10. ábra Tangenciális feszültség szemléltetése



A vékonyfalú henger hosszirányú feszültsége kiszámítható: [17]

$$\sigma_a = \frac{pD}{4e} \quad (18)$$

Ahol:

p – belső nyomás (MPa)

D – a köpeny közepes átmérője (mm)

e – a köpeny falvastagsága (mm)

Hasonlóképpen, a vékonyfalú henger tangenciális feszültségét a következőből számítjuk ki: [17]

$$\sigma_t = \frac{pD}{2e} \quad (19)$$

Ugyanazon változókat alkalmazva.

Ebből az következik, hogy:

$$\sigma_t = 2\sigma_a \quad (20)$$

Feltételezve, hogy:

- Az anyag homogén és izotrópikus
- A doboz csak a rugalmassági tartományán belül van megterhelve
- Kéttengelyű feszültség ébred a dobozban

A Hooke-törvény kimondja, hogy a feszültség arányos a nyúlások mértékével. Kéttengelyű feszültségi állapot esetén ez az arányosság a következőképpen fejezhető ki: [17]

$$\sigma_t = \frac{E(\varepsilon_t + \nu \varepsilon_a)}{(1 - \nu^2)} \quad (21)$$

és

$$\sigma_a = \frac{E(\varepsilon_a + \nu \varepsilon_t)}{(1 - \nu^2)} \quad (22)$$

ahol

E – rugalmassági modulus vagy Young modulus [MPa]

ν – Poisson tényező [-]

ε_a – axiális irányú nyúlás [mm/mm]

ε_t – tangenciális irányú nyúlás [mm/mm]

A (21) -es , (22) -es és (20) -as számú egyenleteket felhasználva és egyszerűsítéseket alkalmazva: [17]

$$\sigma_t = \frac{E(\varepsilon_t)}{(2 - \nu)} \quad (23)$$

és

$$\sigma_a = \frac{E(\varepsilon_a)}{(1 - 2\nu)} \quad (24)$$

Így a nyomás közvetlenül számítható a mért alakváltozásokból a (23)-as és (24)-es egyenlet visszahelyettesítésével az (18)-as egyenletbe: [17]

$$p = \frac{4e E \varepsilon_t}{D(2-\nu)} \quad (25)$$

és

$$p = \frac{4e E \varepsilon_a}{D(1-2\nu)} \quad (26)$$

Ha megvan a (24)-es és (25)-ös egyenlet, akkor a belső nyomás a dobozban a mért hossz- és kerületi nyúlásokból közvetlenül számítható. [17]

7. MÉRÉSEK

A mérések során vizes nyomáspróbát végeztem egy egyedi befogókészülék és egy tartályos töltőszivattyú segítségével, mely használatához el kellett távolítani a dobozok alsó edényfenekét és így ráhelyezhető lett a doboz. Ezzel a módszerrel a doboz felső kialakításának a belső nyomásból származó teherbírását tudtam meghatározni.

7.1. A befogókészülék:

Az alsó része, amelyre felkerül a próbadarab, egy gumírozott elem és ez az a rész, amely szétfeszül a felette lévő anya meghúzásának hatására, így a doboz rászorul. A tetejére felszerelhető egy nyomástávadó, mely által továbbított értékeket számítógépen rögzíteni lehet.



11. ábra Egyedi befogókészülék



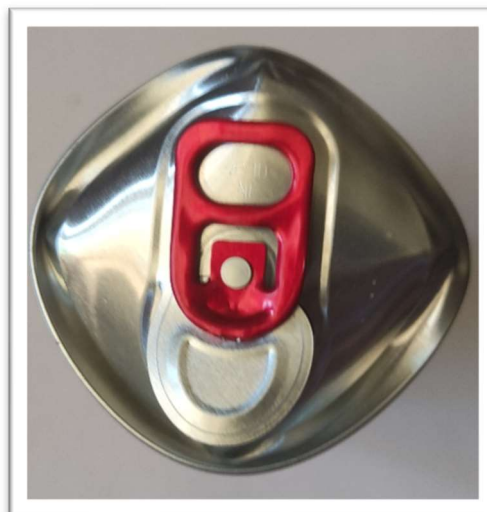
12. ábra Mérésre előkészített doboz

7.2. Mérési eredmények

A mérések során törekedtünk arra, hogy lassú nyomásnövekedést idézzünk elő, elkerülve azt, hogy a dinamikus hatások befolyásolják az eredményeinket. Az ilyen módon nyomáspróbázott daraboknál következő négy képen (13. 14. 15. 16. -ábra) látható módon a nyitófülnél nyíltak ki és hasonló alakváltozást szenvedtek el a mintadarabok.



13. ábra Jellemző nyitás és alakváltozás I.



14. ábra Jellemző nyitás és alakváltozás II.



15. ábra Jellemző nyitás és alakváltozás III.



16. ábra Jellemző nyitás és alakváltozás IV.

A következő két (17. 18. ábra) képen látható olyan próbadarab, amely nem a jellemző módon nyílt ki, hanem a fedél anyaga hamarabb szakadt el mint a nyitófülnél lévő könnyített elem.



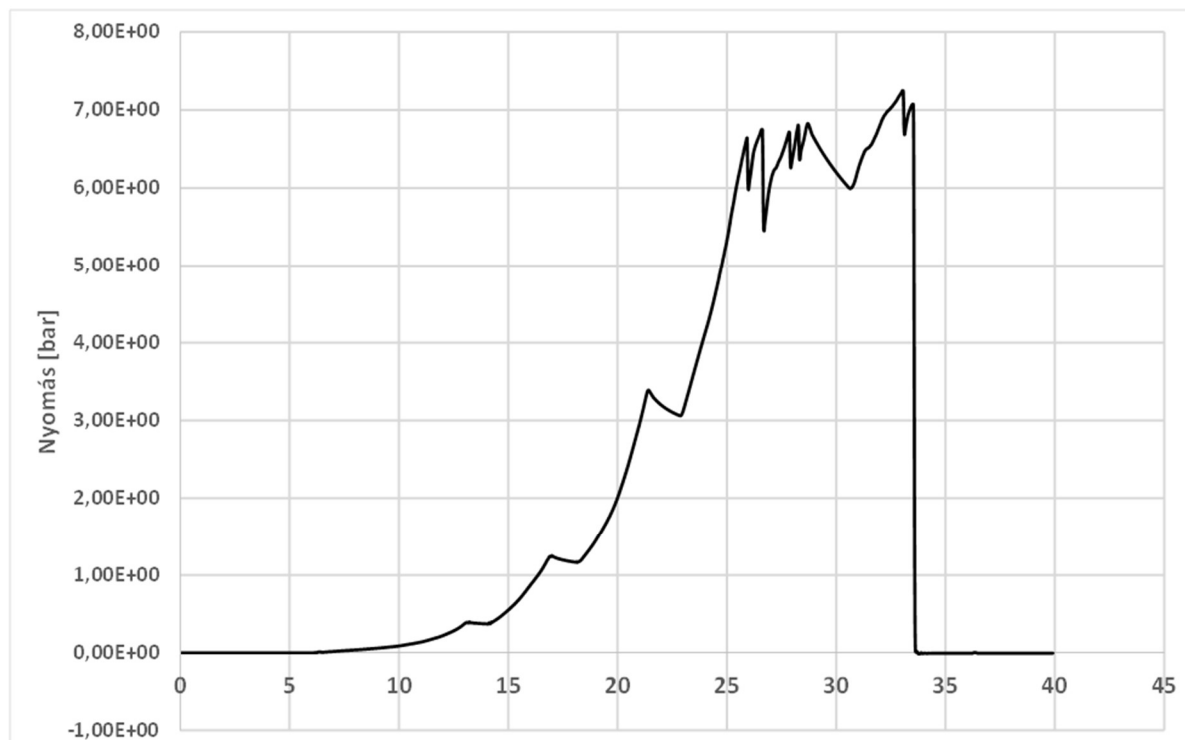
17. ábra Eltérő nyílás I.



18. ábra Eltérő nyílás II.

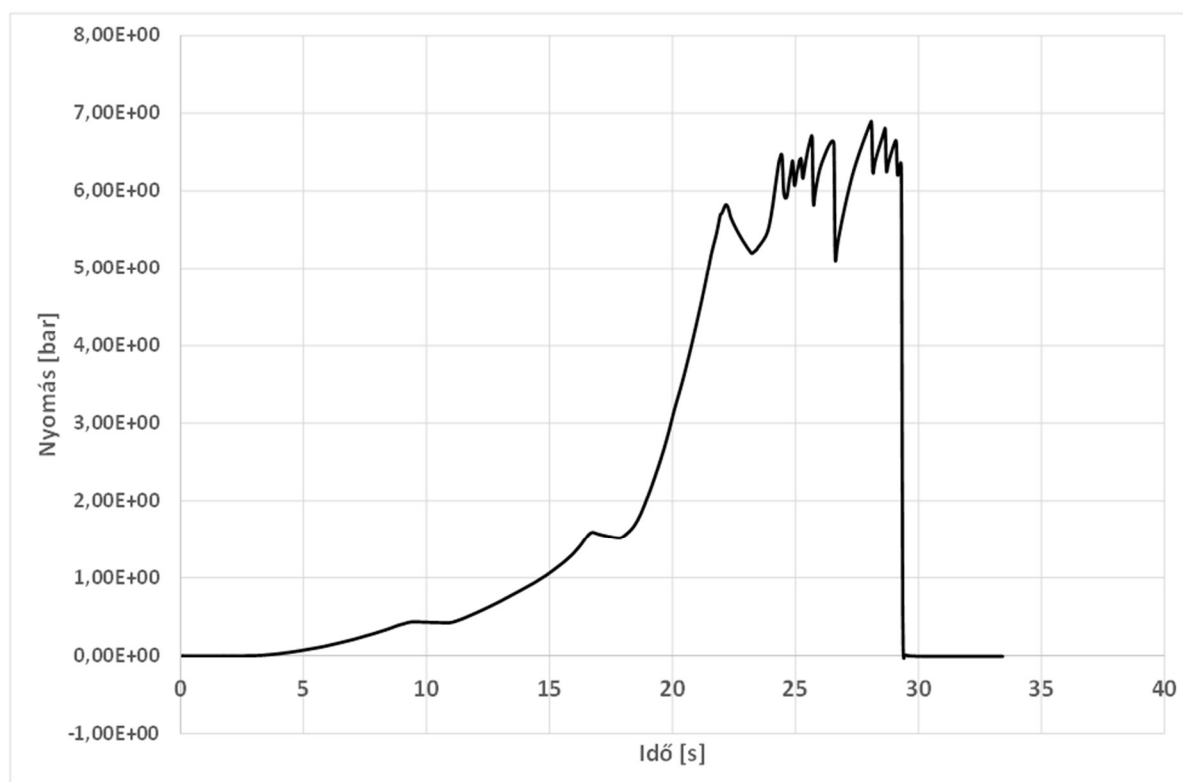
A következőkben látható néhány idő-nyomás diagram a mérési eredményekről.

A nyomás emelkedő fázisában látható „hullámok” a próbanyomás közegének szakaszos szivattyúzásából adódnak, majd a maximum nyomásérték közelében lévő „hullámok” az anyag megfolyásából adódhatnak, hasonlóan, mint a különböző szakítódigramoknál láthatóak. A mérés során 6 bar-os nyomásterhelés eléréséig jellemzően nem volt tapasztalható alakváltozás, viszont fölötté jelentős deformációt szenvedett a fedél majd rövidesen bekövetkezett a szakadás.

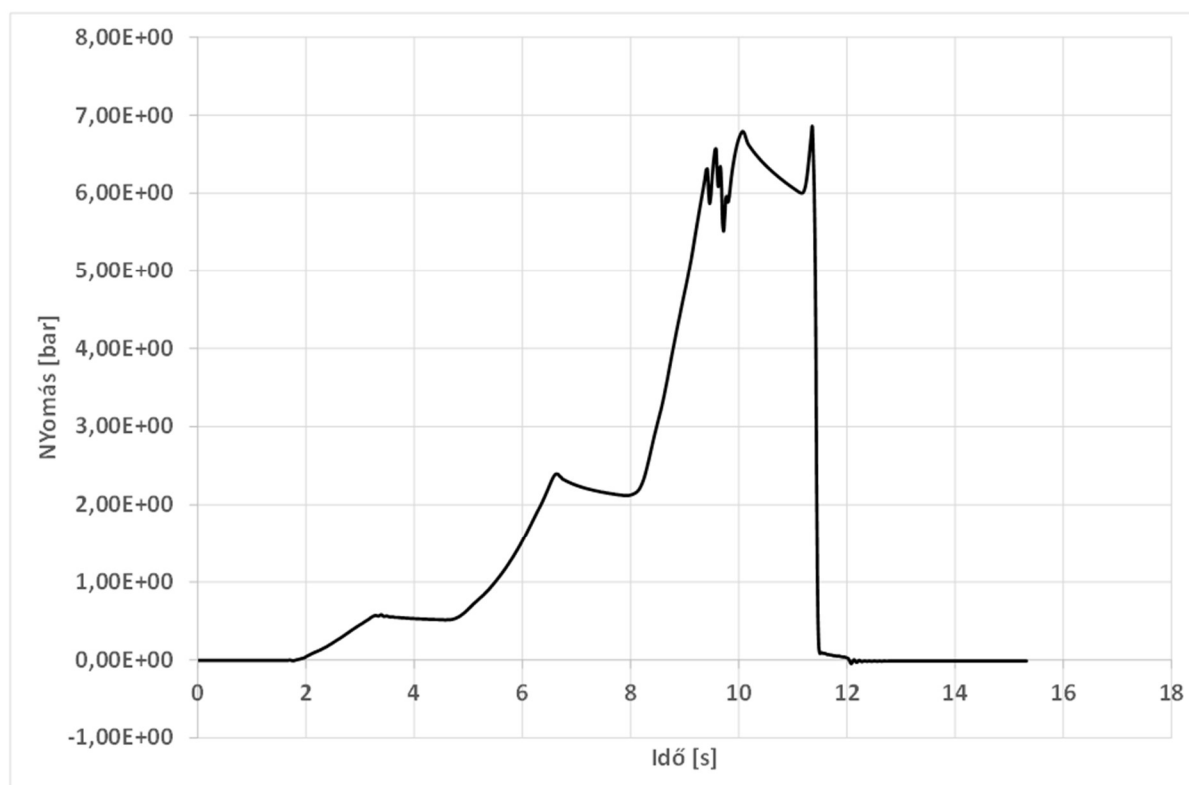


19. ábra Az eltérő nyílású mintához tartozó idő-nyomás diagram

Az első (17. ábra) diagramon az eltérő nyílású mintadarab idő-nyomás görbéje látható. A következő két ábra az 5. és 9. méréshez tartoznak. Látható, hogy lényegi különbség nincsen a görbék között (a nem bemutatott mérésekhez tartozóak is hasonló jelleget mutatnak.)



20. ábra 5. méréshez tartozó idő-nyomás diagram



21. ábra 9. méréshez tartozó idő-nyomás diagram

A következő táblázat a próbadarabok nyitásnál elért maximális nyomásokat tartalmazza:

Sorszám	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nyomás [bar]	7,2	3,4	6,8	6,8	6,8	6,8	7,0	7,1	6,8

7. táblázat Maximális nyomásértékek

A 2. mintánál megsérült a doboz köpeny része így jóval kisebb nyomáson kinyílt, azonban így a doboz oldalfalánál szakadt szét, így az átlagszámításnál nem vettem figyelembe.

A dobozok átlag nyitónyomása :6,95bar

További számításokat végezve lehetőség van meghatározni, hogy mekkora hőmérsékleten okozhat a szén-dioxid deszorpciója ekkora nyomásváltozást.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eddigi kutatómunkám bemutatta a későbbiekben vizsgálni kívánt folyamatok hátterét és egy átfogóbb képet mutat a vizsgált élelmiszeripari csomagolóanyag kialakításáról és a bele kerülő közegről, annak kémiájáról és előállításának módjairól. A méréssel meghatározott határnyomás, ahol a mintadarabok kinyílhatnak, 7 bar körüli értéke igazán figyelemre méltó az edény szerény méreteihez képest, ez az adat kiváló kiindulási pont lehet a szén-dioxid abszorpciós és deszorpciós folyamatainak vizsgálatához. Ezen folyamatok okozta parciális nyomásnövekedésre koncentrálna kívánom meghatározni azon körülményeket, illetve paramétereket, amelyek a palackok spontán kinyílásához vezethetnek. Ebben a jelenségben kulcsszerepe van a hőmérsékletváltozásnak, tehát ennek függvényében kell a további vizsgálatokat elvégezni.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] 29/2011. (VIII. 3.) NGM rendelet a szállítható nyomástartó berendezések biztonsági követelményeiről és megfelelőség-tanúsításáról, 2011.
- [2] 35/2014. (XI. 19.) NGM rendelet egyes szállítható nyomástartó berendezések üzemeltetésével kapcsolatos műszaki biztonsági követelményekről és a Gázpalack Biztonsági Szabályzatról, 2014.
- [3] A. L. Martins, A. A Couto és N. B. Lima, „Study of the deep drawing behavior and crystallographic texture of AA 3104-H19 aluminum alloy sheets,” *Journal of Materials: Design and Applications*, %1. kötet230, %1. szám3, pp. 748-759, 2016.
- [4] R. PADMANABHAN és L. F. MENEZES, *Lightweight metal alloy tailor welded blanks*, University of Coimbra, Portugal: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [5] AssemZ., „LinkedIn,” 2017. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/carbonated-beverages-aluminum-cans-quick-overview-assem-zakaria>.
- [6] „How Products are Made,” 2011. [Online]. Available: <http://www.madehow.com/Volume-2/Aluminum-Beverage-Can.html#ixzz7ud1y4BYL>. [Hozzáférés dátuma: 03 05 2023].
- [7] *ISO 6361-2 Wrought aluminium and aluminium alloys - Sheets, strips and plates - Part 2: Mechanical properties*, 2014.
- [8] „MakeItFrom.com,” 30. 05. 2020.. [Online]. Available: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/5182-H38-Aluminum>. [Hozzáférés dátuma: 03. 05. 2023.].
- [9] „Matweb.com,” [Online]. Available: https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=aaaabe41a20a4ed2b48270f7f2ef1b2d. [Hozzáférés dátuma: 03. 05. 2023.].
- [10] *EN 573-3: Aluminium and aluminium alloys. Chemical composition and form of wrought products. Chemical composition and form of products*, 2019.
- [11] „MakeItFrom.com,” 30 05. 2020.. [Online]. Available: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/5182-H38-Aluminum>. [Hozzáférés dátuma: 03. 05. 2023.].
- [12] K. A. Al Saffar és L. M. H. Bdeir, „Recycling of Aluminum Beverage Cans,” *Journal of Engineering and Development*, %1. kötet12, %1. szám3, 2008.
- [13] V. Chaudhary, „Sof Carbonated Beverages,” in *Beverages Processing and Technology*, 2018, pp. 90-111.
- [14] J. Kim és H. Park, „Carbonation of Beverages,” in *Encyclopedia of Food Chemistry*, Elsevier, 2018.

-
- [15] J. Elhajj, M. Al-Hindi és F. Azizi, „A Review of the Absorption and Desorption Processes of Carbon Dioxide in Water Systems,” *Industrial & Engineering Chemistry Research*, American University of Beirut, 2020.
- [16] T. S. Kuntzleman és A. Strugis, „Effect of Temperature in Experiments Involving Carbonated Beverages,” *Journal of Chemical Education*, %1. kötet97, 2020.
- [17] J. F. J. Dues, „Soda Can Mythbusting,” Purdue University, College of Technology at New Albany, 2006.
- [18] „Hoop Stress on a Soda Can,” University of Notre Dame, Aerospace and Mechanical Engineering, 2018.
- [19] D. M. Filizzola, T. da Silva Santos és A. G. de Miranda, „Annealing Effect on the Microstructure and Mechanical Properties of AA 5182 Aluminum Alloy,” *Material Research*, 2021.