

MÓDSZERTAN AZ ÉLELMISZERIPARI FÓLIÁK VASTAGSÁGI EGYENLETESSÉGÉNEK VIZSGÁLATÁHOZ

METHODOLOGY FOR TESTING THE THICKNESS UNIFORMITY OF FOOD INDUSTRY FILMS

Kocsis Krisztián István*, Boronyák Márton*, Szabó Roland**, Dr. Hány András***

ABSTRACT

The role of packaging technology is growing in industry, and the quality of the film used is often an important aspect during the related design tasks. The aim of the research was to comprehensively examine the thickness homogeneity of blown polyethylene (LDPE) films used in the food industry, with particular emphasis on comparing transverse (U-profile) and circular (polar profile) thickness distributions. Our goal was to determine the extent to which local inhomogeneities arising during production affect the mechanical behavior and tear resistance of the films. During the research, we integrated four complementary methods: tactile measurements on flat samples, polar profile measurements on inflated films, microscopic analysis on cross-sectional samples, and burst testing with high-speed camera recording. Based on the results, we also formulated industrial recommendations for increasing thickness stability and introducing online process monitoring.

ÖSSZEFOGLALÁS

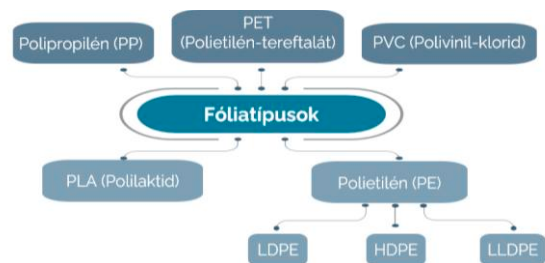
A csomagolótechnika szerepe növekszik az iparban, a kapcsolódó tervezési feladatok során gyakran lényeges szempont a használt fólia minősége. A kutatás célja az élelmiszeriparban használatos fújó polietilén (LDPE) fóliák vastagsági homogenitásának átfogó vizsgálata volt, különös tekintettel a keresztirányú (U-profil) és a körkörös (polárprofil) vastagságeloszlások összehasonlítására. Célunk volt meghatározni, hogy a gyártás során kialakuló lokális inhomogenitások milyen mértékben befolyásolják a fóliák mechanikai viselkedését és szakadásállóságát. A kutatás során négy egymást kiegészítő módszert integráltunk: tapintóórás mérések sík mintákon, polárprofil-mérések felfújó fóliákon, mikroszkópos elemzés keresztmetszeti mintán, és durrantásos teszt gyorskamerás rögzítéssel. Az eredmények alapján ipari ajánlásokat is megfogalmaztunk a vastagsági stabilitás növelésére és az on-line folyamatmonitorozás bevezetésére.

1. AZ ÉLELMISZERIPARBAN ALKALMAZOTT CSOMAGOLÓFÓLIÁK

Az élelmiszeripari csomagolás célja a termékminőség megőrzése és a fogyasztásbiztonság biztosítása, amit fóliás – például thermoform vagy bliszter – csomagolások esetén több réteg kombinálásával érnek el. A rétegek különböző funkciókat látnak el (barrier, mechanikai, optikai, hegedhető), így garantálható a gáz- és nedvességzárás, a mechanikai szilárdság és a higiéniai előírásoknak való megfelelés. Bár a hazai szakirodalom korlátozott, a CSAOSZ Évkönyvek naprakész információkat nyújtanak a csomagolóipar technológiai trendjeiről [1][2].

A leggyakrabban alkalmazott fóliák közé tartozik az LDPE, LLDPE, BOPP és PET. Az LDPE jó ütésállóságot és gázzáró képességet biztosít, ezért széles körben használt élelmiszer- és nem élelmiszeripari csomagolásokban. A thermoform (pl. joghurtos poharak, húskészítmények tálcái) és bliszter (pl. gyógyszerári buborékfóliák) csomagolásoknál különösen fontos a fóliák mechanikai és optikai stabilitása. A PET fóliák hőálló felső réteggént szolgálnak, míg a BOPP fóliák kiváló átlátszóságuk és méretstabilitásuk miatt alkalmasak zacskókhoz és címkékhez; laborvizsgálatok szerint vastagsági eltérésük nem haladta meg a 2 %-ot [3][4].

A környezettudatos megoldások között egyre nagyobb teret nyernek a biológiailag lebomló PLA-fóliák, amelyek biztonságosan alkalmazhatók élelmiszer-csomagolásban, mivel nem bocsátanak ki tejsavat a termékbe [4].



1. ábra Az élelmiszeriparban alkalmazott fóliák típusai

* ZalaZONE Ipari Park Zrt. duális mérnök hallgató – Pannon Egyetem

** TC-Zone Mérnöki Kft., vezető mérnök

*** ZalaZONE Ipari Park Zrt. vezérigazgató

2. A MÓDSZERVÁLASZTÁS INDOKLÁSA

A polietilén fóliák vastagságának vizsgálatához nem volt célszerű a hagyományos anyagvizsgálati módszereket alkalmazni, mert ezek többsége fémekre vagy merev anyagokra készült, és a vékony, rugalmas fóliák esetében pontatlan, sőt roncsoló hatású. Az iparban használt ultrahangos, lézeres, kapacitív, induktív és röntgenes technológiák sem adnak megbízható eredményt, az ultrahangot a fólia elnyeli, a fényvisszaverődés bizonytalan, a szenzorok pedig a kis vastagság és a nem vezető alapanyag miatt hibásan mérnek.

A csomagolóiparban elterjedt mechanikus mérések – például a mikrométeres vagy tömegalapú vastagságmérés – csak átlagolt értéket adnak, ezért nem mutatják meg a körkörös vagy helyi eltéréseket. Ezért olyan kombinált mérési rendszert alakítottunk ki, amely egyesíti az inflációs (felfújásos) vizsgálatot, a mikroszkópos keresztmetszeti mérést és a többpontos, mérőórás U-profil elemzést. Ezzel a módszerrel pontosabb képet kaphatunk a fólia vastagsági egyenletességéről, és mechanikai viselkedéséről.

3. SZABVÁNYOK ÉS ALKALMAZOTT TECHNOLÓGIÁK ÁTTEKINTÉSE

1. táblázat A fóliaiparban alkalmazott szabványok

Szabvány	Alkalmazási terület	Megengedett hibahatár
ISO 4593/4591	Általános műanyag fóliák	±1 µm: <100 µm ±2 µm: 100-250 µm ±3 µm: > 250 µm
ASTM D6988	Védőfóliák	±1-2 µm: <250 µm
DIN 53370	Rugalmas fóliák (PVC, PU)	+/- 1 µm: 10-100 µm +/- 2% > 100 µm
ISO 527-3/ASTM D882	Szakítóvizsgálat vékony filmekre (<1mm)	(nem vastagsági mérés)
ASTM F1140	Belső nyomásos felfújásos teszt csomagolásokra (hegesztések ellenőrzésére)	±1 % (nyomásérték)
ASTM D8136	Kontaktus nélküli kapacitív vastagságmérés	±0,2 µm

A táblázatból is látható, hogy a felfújásos vizsgálatra, kiegészítve roncsolásos és/vagy roncsolásmentes anyagvizsgálattal, nincs dedikált standard.

Az iparban alkalmazott vastagságmérési módszerek szerepet játszanak a fűjt fóliák egyenletességének

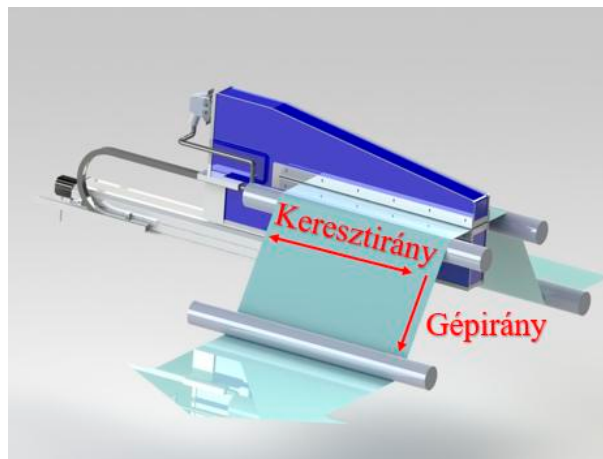
biztosításában. A laboratóriumi (off-line) mérések – például mérőórás vagy profilmérős vizsgálatok – a gyártósorok kalibrálását és a minőségellenőrzést szolgálják, ezzel szemben az on-line rendszerek (kapacitív, röntgenes, optikai) valós idejű felügyeletet és szabályozást tesznek lehetővé. A kiértékelésnél az U-profil és a polárkoordinátás ábrázolás egyaránt fontos információt ad a vastagsági eloszlásról.[5]

4. KAPCSOLÓDÓ FOGALMAK

4.1 Tájélopsi konzisztencia

A fóliák vastagságprofiljainak összehasonlítható értékeléséhez elengedhetetlen a minták azonos tájolósa, különös tekintettel a fóliatekerces gépirányára (MD – Machine Direction).

A gépirány (MD) az, amely mentén a fólia extrudálódik és később feltekeredik a tekercsre. Elengedhetetlen minden mérendő fóliadarabon egy 0°-os referenciáirány bevezetése, amelyhez viszonyítva elvégezhetők a méréseink



2. ábra Tájélopsi konzisztencia

4.2 Az U profil

Az U-profil a fóliának a lapított állapotában, keresztirányban vett vastagsági profilját jelenti.

Az értékeket X–Y koordináta-rendszerben ábrázoljuk, ahol ideális homogenitás esetén U-alakú görbe rajzolódik ki, szemléltetve a szélek és a közép közötti vastagságeloszlást. Az U-alak általában úgy jön létre, hogy a fólia szélei vastagabbak, míg középső területei vékonyabbak lehetnek, például hűtési eltérések, vagy egyéb technológiai tényezők miatt.

U profil kiértékelése:

$$U = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{\bar{t}_{\text{avg}}} * 100\%$$

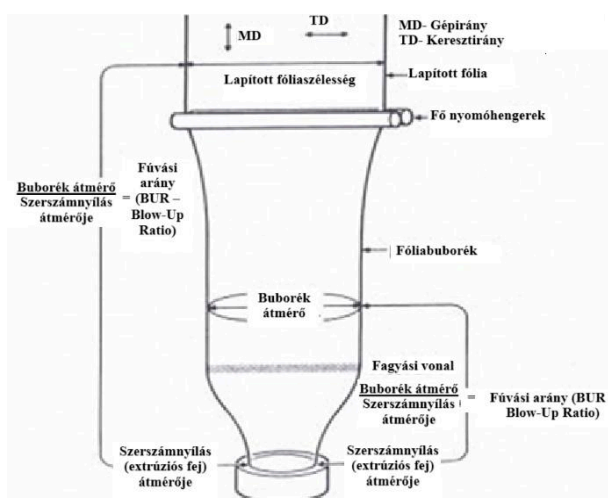
- t_{\max} : a mért vastagságok maximális értéke
- t_{\min} : a mért vastagságok minimális értéke
- \bar{t}_{avg} : az összes mért pont átlagos vastagság

2.táblázat U-profil százalékos értékelése
(iparban szokásos értékek szerint)

U érték (%)	Értékelés
<5%	Kiváló homogenitás
5–10%	Jó, stabil rendszer
10–15%	Közepes, optimalizálható
>15%	Rossz homogenitás

4.3 Felfúvási arány (BUR - Blow Up Ratio) szerepe

Az LDPE-alapú élelmiszeripari fóliák előállítása során a felfúvási arány az egyik legkritikusabb paraméter, amely közvetlen hatással van a termék mechanikai, optikai és morfológiai tulajdonságaira. A BUR értéke a fóliabuborék átmérőjének és az extruder fűvőfejének átmérője közötti hányadosként definiálható, és ez a geometriai arány szabályozza a fólia keresztirányú (TD) nyújtásának mértékét.



3.ábra A fúvott fólia elemei

5. ANYAGOK ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A vizsgálatok során alkalmazott fóliák 50 mikron vastagságú, polietilén (LDPE) alapú csomagolófóliák voltak, melyeket kifejezetten élelmiszeripari felhasználásra fejlesztettek ki. A gyártó által megadott specifikációk szerint a fóliák vastagsága az ISO 4593 szabvány előírásainak megfelelően került validálásra, ezáltal a vastagsági tűrések és a mérési pontosság megfelelt a csomagolóipari követelményeknek. A fólia tekercs formában állt rendelkezésre, ezekből vettük a keresztirányú, illetve a körkörös homogenitási tesztekhez szükséges mintákat, a tájolási konzisztencia biztosítása mellett. A mintákat ellenőrzött körülmények között tároltuk és készítettük elő a mérési eljárásokra (pormentesítés, zsírtalanítás), biztosítva ezzel a mérési eredmények reprodukálhatóságát és pontosságát.

5.1 Keresztirányú vastagságmérés sík fólián mérőórával

A keresztirányú vastagságméréshez Mitutoyo H-0210F típusú analóg tapintóórát használtuk, amely 0,5 μm -es osztásközzel és $\pm 1 \mu\text{m}$ ismétlési pontossággal rendelkezik. A mérőórát stabil gránitlappos állványra rögzítettük, így biztosítva a rezgésmentes, pontos mérést. A mérés során a fóliamintán jelöltük a 24 vizsgálati pontot, egymástól azonos távolságra (~3,3 cm). A mérőfej lefelé irányuló mozgása a tapintótű kitérésén keresztül jelezte a fólia helyi vastagságát. Fontos kiemelni, hogy ez a módszer nem károsítja a mintát, és a kis osztásköz lehetővé teszi a rétegvastagság mérését.

5.2 Felfúvásos vizsgálat – FESTO felfúvó-modul alkalmazása

A fóliát FESTO pneumatikus rendszerrel nyomás alatt stabil állapotig felfújtuk (~0,4 bar). Ezután a fóliát leeresztettük, és a felfújt zóna kerületén végig – 24 szöghelyen (15°-os osztásközzel) a jelölt pontokban mértük a vastagságot. Ezzel a méréssel kialakíthatóvá vált az előzők során említett polárprofil, amely az adatok feldolgozásánál egyértelmű képet adott a helyi homogenitásról, és információval szolgált a szerszám szimmetriájáról, hűtési problémákról és az esetleges anyagáramlási hibákról.

5.3 Mikroszkópos keresztmetszeti vizsgálat (rétegvastagságok)

Ezen mérés során a fent említett módon, epoxy gyantával kiöntött mérőpohárba helyezett fólia vastagságának mérésére került sor, 24 tetszőlegesen kiválasztott ponton.

A fóliaminták keresztmetszeti vizsgálata előtt a minták felületét megfelelő mechanikai és finom megmunkálási lépések során készítettük elő a mikroszkópos megfigyeléshez. A minta felületét először fokozatos finomságú, (P400, P800, P1000, majd P1200) vízzel használható csiszolópapírokkal csiszoltuk, hogy az anyagfelület egyenletes és sík legyen.

Ezt követően kétlépcsős mechanikai polírozást végeztünk: először 6 μm szemcseméretű polírozólappal, majd 3 μm -es finom polírozólappal a felszín finomítása érdekében. Ennek eredményeként sima, homogén és optikailag áttetsző felületet kaptunk, amely ideális feltételeket biztosított az optikai mikroszkópos mérésekhez. A gondos előkészítés lehetővé tette a fólia teljes keresztmetszetének éles, jól kontrasztált megjelenítését, ami növelte a vastagságmérés pontosságát és megbízhatóságát.



4. ábra A keresztmetszeti minta mikroszkópos vizsgálata (Hirox-MXB-2500RZE)

5.4 Fólia felfújása és durrantása gyorskamerával (FESTO + kamera)

A fóliát fokozatosan növelt nyomással szakadásig fűjtük (inflációs-teszt). A folyamatot nagy sebességű kamerával rögzítettük, hogy a szakadás helye, iránya és jellege utólagosan egyértelműen elemezhető legyen.

Ez a módszer különösen fontos a gyártásvégi minőségellenőrzéshez, illetve a megelőző hibadetektáláshoz. Segítségével válasz adható többek között arra kérdésre is, hogy valóban azon szöghelyen szakad el a fólia, ahol a legvékonyabb?

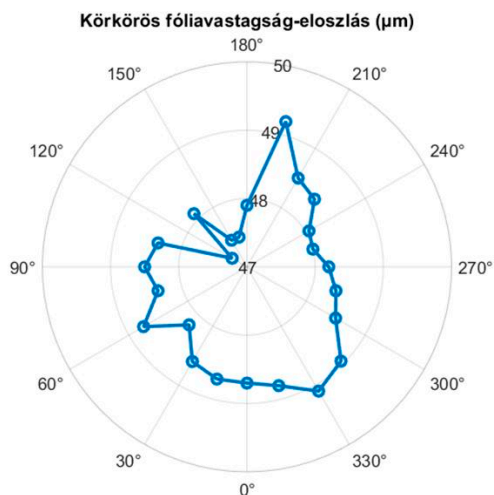
6. MÉRÉSI MÓDSZEREK KOMBINÁLÁSÁNAK SZÜKSÉGE, A FOLYAMAT MENETE

A kérdésre, hogy miért nem elég egy vizsgálati módszer önmagában, a magyarázat viszonylag egyszerű: a mérőórás és mikroszkópos mérések kizárólag a vastagsági eloszlást mutatják, de nem adnak információt a fólia mechanikai integritásáról. Ezzel szemben a felfúvásos-teszt csak a szakítónyomást méri, de nem tárja fel a körkörös vastagsági ingadozásokat. Emiatt a kettő kombinációja (illetve kiegészítő vastagságmérési eljárások az ellenőrzés érdekében) szükségesek a teljes folyamat megértéséhez [5].

Az előszűrés során a szakadási nyomások szórásából gyorsan kiderült, mely minták a leggyengébbek. Emellett a gyorskamerás felvételek segítségével meghatározható a szakadási irány és annak ismétlődő mintázata is. Ezt követően részletesen feltérképeztük a vastagsági profilt mérőóra és/vagy mikroszkóp segítségével 24 pontban (mind a sík, mind a felfűjt mintákon), hogy lássuk, hol vannak vékonyabb szegmensek.

A felfúvásos teszt és az polárprofil összekapcsolásából pontosan meghatározhatók többek között, hogy:

- Melyik szöghelyen (pontnál) a leggyengébb a vizsgált minta? (5. ábra)
- Melyek a gyártási beállításokból fakadó homogenitási különbségek?
- Valóban látható-e összefüggés a szakadási hely és a leggyengébb pont között?



5. ábra Polárprofil

Összefoglalva elmondható, hogy a felfúvásos-teszt elsősorban azt mutatja meg, hogy mekkora erőt (nyomás) bír a fólia átlagosan, míg a vastagságmérések során megállapított vastagsági profilból következtethetünk az elsődleges vékonyodás helyére és a gyártás stabilitására. Ez a két módszer együtt biztosítja, hogy ne csak az átlagos szilárdságot tudjuk meg, hanem azt is, miért vagy hol szakad el a fólia. Ezek után javaslatként kerülhet megfogalmazásra a gyártási paraméterek finomhangolására, amely nem csak gazdasági, hanem környezetvédelmi szempontból is fontos tényező, továbbá a csomagolástechnikai gépek tervezése számára is fontos információkat szolgáltat.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A.R. Alias, et al., Emerging materials and technologies of multi-layer film for food packaging application: A review, 2022
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108875>
- [2] CSAOSZ Évkönyv 2021 [online] – Csomagolás a fenntarthatóság és funkció kettősségében, https://www.csaosz.hu/evkonyv/csaosz_evkonyv_2021.pdf [Hozzáférés dátuma: 2025. 10.21.]
- [3] W Weihua Huang, et al., Large-Area Thickness Measurement of Transparent Films Based on a Multichannel Spectral Interference Sensor, 2024
<https://doi.org/10.3390/app14072816>
- [4] Lindani Koketso Ncube, et al., Environmental Impact of Food Packaging Materials: A Review of Contemporary Development from Conventional Plastics to Polylactic Acid Based Materials
<https://doi.org/10.3390/ma13214994>
- [5] How to Measure Plastic Film [online]
https://www.gauging.com/customer-resources/how-to-measure-plastic-film/?utm_source=chatgpt.com
 [Hozzáférés dátuma: 2025. 10.21.]