

Molnár Bence

**Rázkódási és ütési igénybevételek felmérése és elemzése
egymásra halmazolt csomagolási rendszerek esetében**

Doktori értekezés

Tézisfüzet

Témavezetők:

Dr. habil. Böröcz Péter, Széchenyi István Egyetem

Dr. habil. Koltai László, Óbudai Egyetem

Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

2023

Tartalomjegyzék

| | |
|---|----|
| 1. A kutatási téma bemutatása..... | 3 |
| 2. A kutatás motivációja | 4 |
| 3. A kutatás módszertana | 6 |
| 4. Tézisek..... | 7 |
| 5. A kutatás összefoglalása és további kutatási irányok | 9 |
| 6. Irodalomjegyzék..... | 10 |

1. A kutatási téma bemutatása

A kutatásom alapvető célja, hogy a termelő vállalatoknak és termékeik csomagolását tervező szakembereknek többletinformációkat szolgáltatson az ellátási láncokban felmerülő, a termékeket károsító igénybevételek jellemzőiről, amelyek pontosabb ismerete lehetővé teszi az optimális termék-csomagolási rendszer tervezését és laboratóriumi vizsgálatát. A megfelelő egyensúly megtalálása csomagolás alapvető funkciói között, mint a termékvédelem, marketing, környezetvédelem és költséghatékonyság legtöbb esetben kompromisszumos döntés elé állítja a vállalati döntéshozókat. Az ellátási láncban felmerülő és várható igénybevételek jellemzőinek pontosabb megismerése, lehetőséget biztosít arra, hogy a laboratóriumi csomagolásvizsgálatok paramétereinek az igénybevételekhez való igazítása, a lehető legjobban reprezentálja a valós igénybevételeket. Ezzel hozzásegítve a csomagolástervező szakembereket az optimális termék-csomagolási rendszer kialakításához, valamint elkerülhetővé teszi a csomagolások laboratóriumi alul-, vagy túlvizsgálatát. Az értekezésem célja ezért továbbá, hogy a kutatásomban felmért és elemzett környezeti hatások, fókuszálva a halmazolt rakományokat érő rázkódások és ütések tulajdonságainak pontosabb megismerésével, a csomagolásokat vizsgáló szakemberek a valóságot az eddigieknél pontosabban reprezentáló laboratóriumi vizsgálati programokat alakíthassanak ki a megtervezett, bevezetni kívánt csomagolások számára. Az optimális termékvédelmi képességekkel megtervezett csomagolási rendszerrel elkerülhetőek az alul- és túlcsomagolásból fakadó negatív externáliák, biztosítva egy környezetbarátabb és költséghatékonyabb csomagolási rendszer használatát.

A téma aktualitását és fontosságát a globalizáció és az e-kereskedelem hatására átalakuló egyre hosszabb és komplexebb ellátási láncokon áthaladó termékek volumene folyamatosan növekedése adja. Az ellátási láncok megnövekedett hossza és komplexitása egyre nagyobb kihívásokkal állítja szembe a csomagolásokat tervező szakembereket, ugyanis ezekben az ellátási láncokban a csomagolt

termékeket sokszor földrészekben átívelően, számos szállító és anyagmozgató járművet alkalmazva, a csomagolt termékek többszöri átrakása mellett továbbítják a célállomásuk felé. Ezek a körülmények, mind különböző hatású és mértékű környezeti igénybevételeknek teszik ki a csomagolt termékeket, úgy, mint a különböző klimatikus igénybevételek, halmazterhelés vagy a rázkódások és ütések.

A csomagolástervezés egyik végső lépése a megtervezett csomagolások védelmi képességeinek laboratóriumi vizsgálata, amely során a csomagolt tervező szakemberek megbizonyosodhatnak arról, hogy a kialakított termék csomagolási rendszer képes megvédeni a terméket a várható szállítási láncban. A laboratóriumi csomagolásvizsgálatok során, idealizált környezetben szimulálhatóak egy adott szállítási lánc igénybevételei. Ahhoz, hogy a laboratóriumi vizsgálatok eredményei megfelelően reprezentálják a várható igénybevételeket és ne eredményezzenek fals pozitív vagy fals negatív eredményt, a várható igénybevételek lehető legpontosabb felmérésére és elemzésére, majd implementálására van szükség.

A doktori disszertációm céljának tűztem ki a szállítási láncokban felmerülő ütsési és rázkódási igénybevételek felmérését és elemzését, valamint ezen hatások halmazolt csomagolásokra gyakorolt hatásának a vizsgálatát. A kutatásom további célja, hogy a felmért és elemzett adatok segítségével a halmazolt csomagolások ütés és rázóvizsgálatai az adott szállítási láncban felmerülő igénybevételeket a valóságot a lehető legjobban megközelítve szimulálják.

2. A kutatás motivációja

Az elmúlt 10 évben a Széchenyi Egyetem Audi Hungária Járműmérnöki Kar Csomagolás és Környezetállósági Vizsgálólaboratóriumának a munkatársaként számos csomagolási rendszer vizsgálatában vettem részt. A csomagolások laboratóriumi ütés és rázóvizsgálatinak paraméterei általában valamilyen iparági csomagolásvizsgálati szabvány írja elő, azonban a szabványos rázóvizsgálatok rázóprofiljai olyan szállítójárművek és útvonalak felméréséből származó adatokon

alapulnak, amelyek tulajdonságai jelentősen eltérőek az Európában használt szállítójárművek és útviszonyok tulajdonságaitól. A rázkódások felmérésével foglalkozó korábbi kutatások fókuszja a legtöbb esetben a szállítójárművek rakfelületén keletkező rázkódásokra és ütésekre irányult, azonban az egymásra halmazolt csomagolások esetében az egyes csomagolási szintek bizonyos frekvenciatartományokban erősíthetik vagy csillapíthatják a felsőbb szintekre ható rázkódások intenzitását. Amennyiben a laboratóriumi vizsgálatok során, a csomagolást tervező mérnökök bizonyosan megfelelő információhoz kívánnak jutni egy halmazolt csomagolási rendszer védelmi képességeit illetően, az a rázóasztalok rakfelületet szimuláló rázómozgásának köszönhetően csak a teljes, eredeti termékkel töltött halmazolt csomagolási rendszer vizsgálatával lehetséges. A gyakorlatban ez sokszor kivitelezhetetlen feladat, mind infrastrukturális, mind gazdasági szempontból. Infrastrukturális szempontból a vizsgálat akadályát legtöbbször a rázóasztalok terhelhetősége, valamint a rázóasztalok felett kialakított hely szűkössége adja. Gazdasági szempontból a teljes halmazban történő vizsgálat akadályja legtöbbször az, hogy nem áll rendelkezésre elég minta termékből vagy a csomagolásból, azok prototípusának költségessége miatt, illetve, ha a csomagolási rendszer nem megfelelően védi a terméket és vizsgálat során a termék megsérül, akkor az jelentős költséget jelent a termék gyártójának. Ez alapján a disszertációban arra keresem a választ, hogy egyes halmazban szállított csomagolási egységekben milyen rázkódási jelenségek keletkeznek ütés, valamint rázóerjesztés hatására, amely információkkal lehetőség nyílhat halmazolt csomagolási rendszer szintenként történő rázóvizsgálatára elkerülve a fentebb említett gazdasági és infrastrukturális korlátozó tényezőket. Ennek a kérdésnek a megválaszolására laboratóriumi ütés és rázószimulációkat végeztem, valamint terepi méréssel vizsgálatam és elemeztem egy szállítójármű által gerjesztett rázkódásokat halmazolt csomagolások esetében.

3. A kutatás módszertana

A doktori kutatásom során, a halmazolt csomagolások rázkódási tulajdonságainak vizsgálatához induktív és empirikus kutatási és bizonyítási módszereket alkalmaztam. Az empirikus eredmények terepi mérések és laboratóriumi körülmények között végrehajtott mérésekből kaptam. A méréseket a Széchenyi István Egyetem a már korábban említett laboratórium mérőeszközeinek segítségével hajtottam végre. A mérési eljárások kidolgozásához és kivitelezéséhez a laboratóriumban töltött 10 éves mérés technikai tapasztalataimra támaszkodtam.

A laboratóriumi és terepi mérések összesített adatai alapján, matematikai statisztikai módszerek alkalmazásával induktív következtetéseket dolgoztam ki a halmazolt csomagolások szintjein felmerülő rázkódási igénybevételek tulajdonságairól.

Elsőként halmazolt műanyag hordók vizsgálatait végeztem el különböző paraméterű ütési igénybevételek esetén. A mérés során nyert válaszgyorsulás adatok csúcsgyorsulás és idő adatait összehasonlítással elemeztem.

A kutatásom következő részében egy hullámpapírdobozból képzett egység rakomány szintjén jelentkező rezgés gyorsulás adatokat mértem szinuszos és véletlenszerű gerjesztés segítségével. A laboratóriumi mérés során a gyorsulást pántolt és nyújtható fóliával rögzített rakományon is vizsgáltam. A mintarakomány egyes szintjein mért gyorsulás adatokat matematikai – statisztikai és összehasonlító elemzéssel értékeltem ki.

A kutatásom utolsó részében terepi és laboratóriumi méréseket végeztem. A terepi mérés során egy expressz csomagküldő szolgáltatások során alkalmazott szállító járműben felépített, halmazolt csomagolási egységek rázkódásintenzitását vizsgáltam. A terepi méréseket követően, a terepi mérések során összeállított mérési rendszeren mértem a halmazolt csomagok rázkódásintenzitását a laboratóriumban, szabványos rázóvizsgálati eljárással. A mérés során számos mérési paraméter megváltoztatásával olyan átfogó statisztikai és összehasonlító elemzésre törekedtem,

amely segítségével a hasonló szállítási környezetben szállított küldeménydarabok laboratóriumi szimulációja elvégezhető.

4. Tézisek

1. Tézis: Félszinuszos jelalakú ütésvizsgálatokkal megállapítottam, hogy a töltött és halmazolt PE műanyag hordók esetén a felsőbb halmazszintek felé a rakomány csillapítja az ütési impulzusokat, a csillapítási tényező a hordók töltési szintjétől függ és mértéke 0,2 és 0,7 közé esik.

A tézishoz tartozó publikáció: [1]

2. Tézis: Laboratóriumban végzett 3 – 200 Hz közötti szinuszos és véletlenszerű rázóvizsgálatokkal megállapítottam, hogy hullámpapírlemez dobozokból halmazolt egységtrakomány esetén az 5 – 16 Hz-es frekvenciatartományban a középső és felső sorok rázkódásintenzitása lényegesen magasabb, mint a gerjesztő mozgás intenzitása. Ez a jelenség a rakományrögzítő pántszalag és/vagy nyújtható fólia megválasztásától független. Ugyanakkor 5 Hz alatt és 16 Hz felett a halmazolt rakomány rétegei gyakorlatilag követik a gerjesztő mozgás jellemzőit.

A tézishoz tartozó publikációk: [2], [3], [4]

3. Tézis Kistehergépjárműben halmazolt és hullámpapírlemez alapú kisméretű csomagok terepi felmérése során megfigyeltem és rögzítettem a felmerülő véletlenszerű rázkódásokat, amelyek elemzése alapján megállapítottam, hogy az 1 – 200 Hz-es frekvenciatartományban a vertikális irányban a legmagasabb a teljes spektrum összesített G_{rms} értéke, a hosszirányban pedig a legalacsonyabb. A halmazolt csomagolások vízszintes irányú szabad elmozdulási lehetőségének növelésével a hosszirányú és oldalirányú összesített G_{rms} értékek mellett a vertikális G_{rms} értékek is jelentős mértékben, közel 20 %-al emelkednek.

3.1 Tézis. Halmazolt kisméretű csomagok terepi felmérésből származó csúcsgyorsulás adatok eloszlásainak vizsgálataival megállapítottam, hogy az egyre magasabb halmazolási szinteken olyan véletlenszerű rázkódás tapasztalható, amely közelít a normális eloszláshoz.

A tézisekhez tartozó publikáció: [5]

4. Tézis: Kistehergépjárműben halmazolt kisméretű csomagok terepi felmérése során a véletlenszerű rázkódások adatainak elemzése alapján megállapítottam, hogy az 1 – 200 Hz-es frekvenciatartományban a legintenzívebb függőleges irányú véletlenszerű rázkódás a kalkulálható teljes G_{rms} értékek alapján a városi szállítás során jelentkezik, amelyet a mellékutak, főutak és autópályákon való szállítás követ.

5. Tézis: Terepi és laboratóriumi összehasonlító vizsgálatokkal megállapítottam, hogy a terepen megfigyelt és egymásra halmozott kisméretű hullámpapírlemezdozok küldemények esetében a 13 – 29 Hz közötti frekvenciatartományban a halmaz felső soraiban a rétegek rezgésintenzitásai elérik a széles körben alkalmazott ASTM D7386 vizsgálati program által előírt rezgésintenzitás szintjeit, ugyanakkor 1 – 13 Hz és 29 – 200 Hz között a G_{rms} értékek 62 % és 79 %-al alacsonyabbak, így ezeken a tartományokon a szabványos vizsgálat túlzott előírásokat követel meg.

5.1 Tézis. Az 1 - 200 Hz-es frekvenciatartományban számított G_{rms} értékek a laboratóriumi vizsgálat során a terepi méréshez képest közel 3,5-ször nagyobb rezgésintenzitást mutatnak a rázóasztal felületén és 2,2 - 3,0-szor magasabbat az egymásra helyezett csomagolások egyes rétegeiben.

A 4. és 5. tézishez tartozó publikációk: [6], [7], [8]

5. A kutatás összefoglalása és további kutatási irányok

Az értekezésemben elsőként bemutatott kutatásomban vizsgáltam a műanyag hordók válaszgyorsulásait különböző bemeneti ütésimpulzusok, a rögzítés és a töltöttségi fokok függvényében. A kutatás eredményei megmutatták, hogy a csillapítási tényező függ a hordók töltési szintjétől. A további kutatásokban célszerű lenne, további műanyag csomagolóeszközökön is elvégezni a méréseket a kutatásban bemutatott mérési rendszer segítségével, hogy komplettebb kép alakulhasson ki a műanyag csomagolóeszközök csillapítási tulajdonságairól.

A hullámpapírdobozokból pántolással és nyújtható fóliázással képzett egység rakományon végzett kutatásomban megállapítottam azokat a frekvenciatartományokat, ahol a rakomány egyes szintjein ébredő rázkódások intenzitása meghaladja a gerjesztés intenzitását, azonban a kutatásomban az egység rakomány rakatképzése egyféle elrendezést mért fel, így célszerű lenne a további kutatások során olyan vizsgálatok elvégzése, amikor a rakatképzés eltérő csomagelrendezéssel készül.

Az értekezésem utolsó két kutatásában terepi felmérést végeztem és adatgyűjtő műszer segítségével rögzítettem egy kistehergépjármű rakfelületén és az ott halmazolt, kisméretű csomagokon ébredő gyorsulásokat. A kutatások eredményei megmutatták a kritikus frekvencia tartományokat, ahol a halmazolt csomagok rázkódás intenzitása lényegesen meghaladja a rakfelület vagy a rázóasztal rázkódásintenzitását, valamint a csomagokon jelentkező rázkódások és gyorsulások változását a szabad elmozdulásuk és a szállítási útviszonyok függvényében. A kutatásaim során egyforma méretű és tömegű csomagokat használtam, azonban, ezek nem elhanyagolható tényezők a rázkódások szempontjából. Ezért a későbbi kutatásaimban az expressz kiszállítási láncban felmerülő igénybevételeket szeretném vizsgálni, eltérő méretű és tömegű csomagolások esetében, különös tekintettel ezek rázkódási és ütési igénybevételeire fókuszálva.

6. Irodalomjegyzék

A disszertáció témakörében megjelent publikációim:

[1] Molnár, Bence; Bakonyi, Antal; S., Paul Singh; Böröcz, Péter: Response performance of semi-rigid stacked plastic drum units along shock impulses „Konferenciakiadvány:” *Serving Society – innovative perspectives on packaging, Proceedings of 29th IAPRI Symposium on Packaging 2019 Enschede, Hollandia : University of Twente (2019) pp. 213-220. , 8 p.*

[2] Molnár, Bence; Böröcz, Péter: Observation of Stacked Corrugated Paper Boxes’ Motion Under Vibration Simulation „Konferenciakiadvány:” *The 21st IAPRI World Conference on Packaging : Packaging: Driving a Sustainable Future Lancaster, Egyesült Királyság / Anglia : DEStech Publications (2018) pp. 160-167. , 8 p.* (Független idézetek száma: 1)

[3] Molnár, Bence; Böröcz, Péter: Performance and Analysis of Unitized Stacked Load Units under Vibration Simulation *FME TRANSACTIONS 48 : 1 pp. 96-101. , 6 p.* (2020)

[4] Molnár, Bence: Egységgrakományba halmazolt hullámpapírolemez dobozok mozgásának megfigyelése, laboratóriumi rázásszimuláció segítségével *LOGISZTIKAI ÉVKÖNYV 25 pp. 259-268. , 10 p.* (2019)

[5] Böröcz, Péter; Molnár, Bence: Measurement and Analysis of Vibration Levels in Stacked Small Package Shipments in Delivery Vans as a Function of Free Movement Space *APPLIED SCIENCES-BASEL 10 : 21 Paper: 7821 , 13 p.* (2020) (Független idézetek száma: 9)

[6] Molnár, Bence; Böröcz, Péter: Experimental Comparison of Field and Accelerated Random Vertical Vibration Levels of Stacked Packages for Small Parcel

Delivery Shipments *APPLIED SCIENCES-BASEL* 11 : 7 p. 2927 , 17 p. (2021)
(Független idézetek száma: 1)

[7] Molnár, Bence; Sher, Paul Singh; Böröcz, Péter: Field and Accelerated Random Vertical Vibration Levels of Stacked Packages for Parcel Delivery „*Konferenciakiadvány:” Proceedings of 30th IAPRI Member Conference, East Lansing (MI), Amerikai Egyesült Államok: International Association of Packaging Research Institutes (2021) pp. 84-102. , 19 p*

[8] Molnár, Bence; Németh, Zsófia; Koltai, László; Böröcz, Péter: Comparison of field and standard random vibration for small-sized and stacked shipments during parcel delivery *JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION (0090-3973 1945-7553): 51 6 Paper 20220490. (2023)*

[9] Molnár, Bence: Simulation Framework For Packaging Dynamics of Stacked Unite „*Konferenciakiadvány:” Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2017)*

[10] Németh, Zsófia; Molnár, Bence; Pánczél, Csaba; Böröcz, Péter: Vibration levels of stacked parcel packages in laboratory test environment. Over-tested or under-tested? *ACTA TECHNICA JAURINENSIS* 14 : 3 pp. 259-269. , 11 p. (2021)

[11] Molnár, Bence: Halmazolt egységgrakományok dinamikájának laboratóriumi elemzése szélessávú véletlenszerű gerjesztésű rázóvizsgálat esetén „*Konferenciakiadvány:”Tavaszi Szél 2018 Konferencia = Spring Wind 2018: Konferenciakötet III. Budapest, Magyarország : Doktoranduszok Országos Szövetsége (DOSZ) (2018) 762 p. pp. 165-172. , 8 p.*

Más témában megjelent publikációim:

[12] Csavajda, Péter ; Mojzes, Ákos ; Molnár, Bence: Multimagas hullámpapírlemez doboz alkalmazhatóságának vizsgálata a térkihasználás javításának érdekében *LOGISZTIKAI ÉVKÖNYV 23 pp. 111-122. , 12 p. (2017)*

[13] Csavajda, Péter ; Böröcz, Péter ; Mojzes, Ákos ; Molnár, Bence: The Effect of Creasing Lines on the Compression Strength of Adjustable Height Corrugated Boxes *JOURNAL OF APPLIED PACKAGING RESEARCH 9 : 1 pp. 15-22. Paper: 3 , 8 p. (2017)* (Független idézetek száma: 8)

[14] Böröcz, Péter; Mojzes, Ákos ; Csavajda, Péter ; Molnár, Bence: Többutas gyógyszeripari gyűjtőcsomagolások logisztikai problémái a napi terítőjáratok során *LOGISZTIKAI ÉVKÖNYV 22 pp. 33-43. , 11 p. (2016)*

[15] Böröcz, Péter ; Molnár, Bence: Analysis of distribution climatic environment on a long-time shipping

„Konferenciakiadvány:”7th International Scientific Conference Management of Technology – Step to Sustainable Production : MOTSP2015

(Független idézetek száma: 1)

[16] Mojzes, Ákos; Csavajda, Péter ; Molnár, Bence: The effect and mechanism of deposit ratio in the returning of reusable packaging

„Konferenciakiadvány:” Proceedings of 1st International Congress Advances in the Packaging Industry Product and Process(2015) pp. 178-182. , 5 p.