

Pánczél Zoltán
okl. közlekedésmérnök, szakmérnök

**A csomagolás rendszerszemléletű értelmezése a logisztikában, és – reológiai –
tervezési módszer kidolgozása a viszkoelasztikus csomagolóanyagokra**

Doktori tézisek

Témavezető:
Dr. Földesi Péter
a közlekedéstudományok kandidátusa

Széchenyi István Egyetem
Műszaki Tudományi Kar
Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése Multidiszciplináris Műszaki
Tudományi Doktori Iskola

Győr
2009

1. A kutatási feladat és előzményei

Évtizedek óta vajdó probléma, hogy a logisztikában áramló termékek csomagolási rendszerei csak empirikusan kerülnek összeállításra, a szállítási igénybevételekkel nincsenek összhangban, és emiatt a logisztikai folyamatok során rendkívül gyakori az áruk sérülése.

A logisztika számára a csomagolási-rendszerek összeállításánál számos olyan csomagolóanyag kerül felhasználásra, amelyeknek szilárdságtani jellemzői tisztázatlanok, és a hagyományos módszerekkel nem is modellezhetők. A globalizálódó termelésben a termelési folyamatok térbeli széttelepítésével az utóbbi években jelentősen megnőtt a félkész termékek, alkatrészek, tartozékok szállítási igényessége, és ez tovább növelte a csomagolásokkal támasztott mennyiségi és minőségi követelményeket.

Az előző okok miatt egyre nagyobb az igény arra, hogy a csomagolási rendszereket, azaz a fogyasztói-, a gyűjtő- és a szállítási csomagolást, az azokból képzett rakodási egységeket, a járműrakterekben való elhelyezést és rögzítést egységes elvek alapján megtervezzék, illetve - a termék érzékenységének figyelembevételével - a logisztikában fellépő hatások ellen megvédjék. Ez egyben azt is jelenti, hogy ezeket a termék-csomagolás-rakomány rendszereket a felhasznált csomagolóanyagok fizikai tulajdonságainak figyelembevételével szilárdságtanilag megtervezzék.

A logisztikai csomagolóeszközök körében - kedvező tulajdonságai miatt - jelentős arányt képvisel a papír, illetve hullámpapírlemez alapú csomagolás. Ezek esetén azonban további nehézséget jelent, hogy a papíryanag mechanikai tulajdonságai nagy mértékben függnnek a nedvességtartalomtól, mely az adott logisztikai rendszer függvényében a mindenkori hőmérséklet-légnedvességtartalom és annak változásának függvénye.

A célom az értekezésben az volt, hogy ezeket a csomagolási rendszereket strukturáltan, a megfelelő védelmi funkció meghatározásával, a rájuk ható mechanikai igénybevételek felmérése alapján, a várható szállítási igénybevételeknek nagy valószínűséggel ellenálló csomagolástervezési rendszermodellt készítsék.

A kutatási feladat részeként tisztáztam a papíryanagok mechanikai tulajdonságait a klímaváltozás függvényében. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a papír mechanikai terhelés mellett nem tekinthető tisztán rugalmas anyagnak, reológiai modellek alkalmazásával határoztam meg különböző adott terhelések mellett a várható terhelési időtartamot, mely a különböző logisztikai rendszerekben nagy mértékben eltérhet egymástól.

A kutatásban a hullámpapírlemez csomagolóeszközök esetén a papírt tekintettem anyagnak, míg a hullámpapírlemezt, illetve az abból készült csomagolóeszközt teherviselő szerkezetként kezeltem. Ez utóbbi két szerkezet klasszikus mechanikai modellekkel - bonyolultsága és statikailag határozatlan jellege miatt - nem kezelhető. Célom volt olyan módszer kidolgozása, amely alapján ezek a dobozszerkezetekben fellépő feszültségviszonyokat, illetve alakváltozásokat, melyek alapján ezek a dobozszerkezetek viszonylag egyszerűen mechanikailag méretezhetővé váltak, és a terhelés elviselési időtartam a terhelési viszonyok figyelembevételével a jelenlegi módszereknél sokkal pontosabban meghatározhatóvá vált.

2. Alkalmazott módszerek

Széles körű nemzetközi és hazai irodalomkutatás alapján összefoglaltam a szállítási igénybevételekkel kapcsolatos ismeretek, és a papír alapú csomagolóeszközök esetén jelenleg alkalmazott szilárdságtani mérési és számítási eljárások milyen irányba haladnak.

Speciális kutatási módszer volt esetemben az a tény, hogy a Széchenyi István Egyetemen, illetve annak jogelődjénél 1979-óta vezetek egy olyan laboratóriumot, mely a logisztikai csomagolásokat alkalmassági szempontból vizsgálja. A szállítási folyamatok során fellépő dinamikus és statikus mechanikai igénybevételeket laboratóriumi körülmények között szimulátorokon állítom elő klímakamrai kezeléssel a legkülönbözőbb klímákon. A laboratórium továbbá rendelkezik olyan mérőműszerekkel, amelyekkel a csomagolóanyagok iparban szokásosan alkalmazott mechanikai tulajdonságait méri. Ezeknek az eszközöknek a felhasználásával és az utóbbi évtizedekben végrehajtott számos kísérlet, mérés és elemzés tapasztalatainak felhasználásával sikerült eljutni oda, hogy a korszerű tervezési módszerekhez kellő megfigyelés, illetve alapadat rendelkezésre álljon.

Ugyanezekben a laboratóriumi szimulátorokon lehetőség nyílt arra is, hogy a kidolgozott tervezési modellek verifikációját végrehajthassam, így igazolható lett a modellek helyessége, illetve a felhasználás premissái.

3. Új tudományos eredmények

Kutatásaim eredményei a következő tézisekben összegezhetők:

1. Tézis

Új, magasabb rendű rendszerfogalmat vezettem be a termékek csomagolótechnikai tervezésének optimalizálására.

A csomagolások logisztikai szempontból egységes rendszerként kezelendők, amely rendszer részrendszerei a csomagolandó termék, annak fogyasztói és gyűjtőcsomagolása, továbbá az egységtrakomány-képző eszközön történő elhelyezés és rögzítés, valamint a jármű rakfelületen történő elhelyezés és rögzítés. Az egyes részrendszerek geometriai-, és tömegméreteit úgy kell meghatározni, hogy valamennyi részrendszer mozgó és tároló eleme optimálisan kihasználható legyen (*Pánczél, 2008, Acta Technica*).

2. Tézis

Mérési eljárást dolgoztam ki a termékek klímahatásokkal kombinált ütés- és rázásérzékenység meghatározásához.

Az eljárással meghatározható, hogy a csomagolandó terméket, illetve annak csomagolási rendszerét a logisztikában milyen hatások, illetve igénybevételek érik, és ezek az igénybevételek laboratóriumi körülmények között hogyan modellezhetők. Ezen belül fontos szempont, hogy ezek a vizsgálatok magas reprodukálhatósági fokúak legyenek, a vizsgálat megismétlésével a nem megfelelés tisztázható legyen. Bebizonyítottam, hogy a csomagolandó termék különböző releváns jellemzőinek megváltoztatásával a csomagolási rendszer egyszerűsíthető, illetve állagmegóvása egyszerűbb eszközökkel biztosítható, mely által csomagolóanyag és csomagolási költség takarítható meg.

Módszertant adtam arra, hogy a két leggyakoribb - elméleti mechanikai alapon nagyon nehezen modellezhető - károsító tényező, nevezetesen az ütés, mint impulzus jellegű, és a tartós sztochasztikus rázás esetén a csomagolandó termék érzékenységét hogyan kell meghatározni, és első közelítésben ezen hatások ellen milyen módon lehet a védelmet méretezni (*Pánczél, 2006, Management and manufacturing system, Slovakia*).

3. Tézis

Laboratóriumi vizsgálatokkal bebizonyítottam, hogy a hullámpapírlemez dobozok tartós teherbírása az alappapírok, alapanyagok mechanikai jellemzőiből nem határozható meg.

A logisztikai csomagolási rendszerekben leggyakrabban alkalmazott hullámpapírlemez alapú csomagolóeszközök teherbírásának vizsgálatával bebizonyítottam, hogy a jelenleg alkalmazott vizsgálati és mérési eljárások - a rövid időtartamú, és az összeroppanásig végzett folyamatos eljárások miatt -, mechanikai méretezésre nem alkalmasak. Megállapítottam, hogy a papír, mint anyag, az abból készült hullámpapírlemez, mint lemezszerkezet, valamint az abból készült doboz, mint zárt tartószerkezet, nem rendelkezik rugalmassági határral, hanem a terhelés teljes időtartama alatt, a rugalmas alakváltozás mellett, folyás jellegű alakváltozás, valamint plasztikus deformáció is történik. E három párhuzamos fizikai jelenség kezelésére reológiai modellt dolgoztam ki, mely a terhelés, és az idő függvényében adja meg a kúszási jellemzőket, és különböző terhelések mellett a várható élettartamot (*Pánczél, 1998, Papír- és nyomdaipar*).

4. Tézis

Mérési módszert dolgoztam ki a hullámpapírlemez dobozok tartós terhelése során létrejövő alakváltozásának meghatározására. Megállapítottam, hogy a hullámpapírlemez-doboz a terhelés felvétele során késleltetett és viszkoelasztikus alakváltozást szenved.

A hullámpapírlemez-doboz szerkezet - mint statikailag sokszorosán határozatlan szerkezet - hagyományos mechanikai modellekkel nem kezelhető, ezért a véges elem módszert, mint közelítő módszert választottam, mely módszert sajátosan felhasználva sikerült tisztázni, hogy a doboz-szerkezetet alkotó hullámpapírlemezben hol és milyen nagyságú feszültségek és deformációk keletkeznek, és eközben milyen reológiai jelenségek játszódnak le.

A véges elem módszer alkalmazásával a hullámlemez-szerkezetek teherbírás növelési megoldásaira választ kaptam, melyek a következők:

- 4.1. A hullámréteget képező papírok esetén a hullámalak, és a hullámosítás nagy jelentőséggel bír.
- 4.2. A hullámalakot a jelenleg alkalmazott sinus alak helyett háromszög alakra célszerű kiképezni, és legjobb szilárdságtani megoldást az egyenlő oldalú háromszög hullámprofil adja.
- 4.3. A hullámlemezt alkotó komponenseket úgy kell megválasztani, hogy azok valamennyi mechanikai igénybevételre azonos erő-deformáció karakterisztikájúak legyenek, ellenkező esetben a lemezszerkezetben egyenetlen teherfelvételi pozíciók keletkeznek, és az igénybevétel hatására a kisebb deformációval rendelkező elemek megroppanása az egész szerkezetet „magával rántja”.
- 4.4. A mérésekből és a vizsgálatokból kiderült, hogy a doboz-szerkezetek összeroppanása gyakran amiatt történik, hogy a doboz hasasodása során keletkező hajlító igénybevételnél az érintett fedőréteg megtörik, és ez a megtörés összeroncsolja a hullámréteget. Ekkor értelemszerűen e vonalak mentén a hullámszerkezet inerciája is végtelenül kicsire csökken, mely a doboz azonnali tönkremeneteléhez vezet. Ebből következik, hogy a hullámlemez sík rétegeit olyan rugalmas papírokból célszerű készíteni, amelyek erre a betörésre nem hajlamosak.
- 4.5. A véges elem módszer alkalmazásához szükséges input adatok meghatározására dolgoztam ki módszert (*Pánczél, 2004, Transpack*).

5. Tézis

Megállapítottam, hogy a hullámpapírlemez dobozok a terhelés nagyságától és időtartamától függetlenül mindig azonos deformációs mértéknél mennek tönkre (kritikus deformáció).

A jelenlegi dobozszilárdság mérési módszerek helyett - melyek az összeroppantási erőre alapulnak – olyan új mérési eljárást dolgoztam ki, amely a hullámpapírlemez anyag reológiai tulajdonságait figyelembe veszi, és a roppantó erő helyett a kritikus deformáción alapulnak. Ugyanakkor ez a mérési eljárás nem sokkal időigényesebb, mint a jelenleg alkalmazott állandó előtolással végzett mérési módszer, nem jelentős a műszerigénye, és a különböző doboz hossz-szélesség-magasság arányokra különböző abszolút méretű dobozoknál megadja azt a terhelés-idő függvényt, melyet különböző szintű terheléseknél a doboz elviselni képes (*Pánczél, 2007, I. Logisztikai Rendszerek és elméletek Tudományos Konferencia*).

4. Az eredmények hasznosítása

Az értekezés tudományos újszerűségét és hasznosítását a laboratóriumba érkező számos ipari megbízás és annak megbízható eredményei bizonyítják. A kutatási eredményeket elsősorban a nagy csomagolóanyag gyártó cégek, mint például a Dunapack Rt., az SCA Packaging Kft., a Rondo Kft., a Duropack Kft. jelenleg is közvetlenül hasznosítja, mind a hullámpapírlemez gyártásban, mind az abból készült csomagolóeszközök tervezésénél.

Hasonlóképpen hasznosul a kutatás az olyan nagy multinacionális cégeknél, mint például az Electrolux, a General Electrics, Philips, a Samsung, a Hewlett Packard, IBM, stb., melyeknél a csomagolástervezési megbízások során, a termék bevizsgálása után a csomagolási rendszert a kutatási eredmények alapján megtervezzük, majd a csomagolási rendszerből készített minta alapján laboratóriumi bevizsgálással igazoljuk a tervezett csomagolási rendszer szállítási igénybevételekre történő alkalmasságát.

Hasonló feladatok merülnek fel a közvetlen értékesítést végző céghálózatnál, melyek értékesítési rendszerében a minta utáni kiválasztást és a közvetlen házhozszállítást tekinti feladatuknak, és ezekben az összetett szállítási láncokban a csomagolási rendszerekkel szemben fokozott követelményeket támasztanak.

Itt említem meg, hogy számos világcég számára a vizsgálati szabványokat is az én aktív közreműködéssel dolgozták ki, és minőségellenőrzési célból ezeket a vizsgálatokat folyamatosan végezzük.

Publikációs jegyzék

Dr. Pánczél Zoltán, A logisztika és a csomagolás kapcsolata, Logisztikai tanulmányok I. (szerkesztő: Dr. Knoll Imre) MLE, Budapest, 1993, 223-238

Dr. Pánczél Zoltán - Dr. Nagy Zoltán, Rakodástechnika I., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1984-től

Dr. Pánczél Zoltán, Rakodástechnika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1986-tól

Dr. Pánczél Zoltán – Böröcz Péter János, Anyagmozgatás, raktározás, Universitas-Győr Non-profit Kft., 2008

Dr. Pánczél Zoltán - Egységtrakományok szállítási igénybevétel-állóságát vizsgáló laboratórium a KTMF-en, A+CS folyóirat, 1983. 7.sz., 200-205

Dr. Pánczél Zoltán - Dr. Nagy Zoltán, Dr. Pánczél Zoltán -Dr. Nagy Zoltán, A+CS folyóirat, 1990. 7-8 sz., 107-112

Dr. Pánczél Zoltán, Tapasztalatok a normál és veszélyes áruk csomagolásainak vizsgálatáról, A+CS folyóirat, 1993. 4 sz., 101-105

Dr. Pánczél Zoltán - A csomagolás szerepe a biztonságtechnikában, Munkavédelem és Biztonságtechnika, 1994.2.sz., 17-24

Dr. Pánczél Zoltán, Logisztikai szempontú csomagolástervezés az igénybevételek laboratóriumi szimulálásával, EU Working Papers 1/2003 BGF szakmai folyóirat, 2003. VI. évfolyam 1. szám, 68-76

Dr. Pánczél Zoltán, The Significance of Logistic Package System Design, Acta Technica Jaurinensis Series Logistica, 2008. November, 247-258

Dr. Pánczél Zoltán, A kiskereskedelmi áruterítés rakodógépesítési problémái, Közlekedési Közlöny, 1978. 51.sz., 23-30

Dr. Pánczél Zoltán, Veszélyes áruk csomagolási problémái és helyzete, Veszélyes anyagok, hulladékok, áruk, 1995. 2.sz., 56-70

Dr. Pánczél Zoltán, Veszélyes áruk csomagolása, Transpack, 2002. 2évf. 2.sz., 12-13

Dr. Pánczél Zoltán, Veszélyes áruk csomagolása II., Transpack, 2002. 2évf. 3.sz., 6-8

Dr. Pánczél Zoltán, Veszélyes áruk csomagolása III., Transpack, 2002. 2évf. 4.sz., 10.-11

Dr. Pánczél Zoltán - Mojzes Ákos, Veszélyes áruk csomagolása IV., Transpack, 2002. 2évf. 5.sz., 9.-12.

Dr. Pánczél Zoltán - Mojzes Ákos, Veszélyes áruk csomagolása V., Transpack, 2002. 2évf. 6.sz., 8.-13.

Dr. Pánczél Zoltán - Mojzes Ákos, Veszélyes áruk csomagolása VI., Transpack, 2003. 3évf. 1.sz., 8.-10

Dr. Pánczél Zoltán - Mojzes Ákos, Veszélyes áruk csomagolása VII., Transpack, 2003. 3évf. 2.sz., 14-16

Dr. Pánczél Zoltán - Mojzes Ákos, Veszélyes áruk csomagolása VIII., Transpack, 2003. 3évf. 3.sz., 14-21

Dr. Pánczél Zoltán - Mojzes Ákos, A csomagolt árukat a logisztikában érő hatások definiálása és laboratóriumi modellezése a termék érzékenységét figyelembevételével, Transpack, 2003. 3évf. 4.sz., 18-21

Dr. Pánczél Zoltán - Mojzes Ákos, HPL dobozok tartós teherbírásának tervezési lehetőségei III., Transpack, 2003. 4évf. 1.sz., 26-29

Dr. Pánczél Zoltán - Mojzes Ákos, Csomagolástechnikai mechanikai ütés- és rezgés csillapítás alapjai I., Transpack, 2004. 4évf. 3.sz., 20-21

Dr. Pánczél Zoltán - Mojzes Ákos, Csomagolástechnikai mechanikai ütés- és rezgés csillapítás alapjai II., Transpack, 2004. 4évf. 4.sz., 26-28

Dr. Pánczél Zoltán- Mojzes Ákos - Szabó Zoltán, Műanyag fóliák csomagolástechnikai alkalmazási jellemzői és méréstechnikái I., Transpack, 2005. 5évf. 2.sz., 19-23

Dr. Pánczél Zoltán- Mojzes Ákos - Szabó Zoltán, Műanyag fóliák csomagolástechnikai alkalmazási jellemzői és méréstechnikái II., Transpack, 2005. 5évf. 4.sz., 13-19

Dr. Pánczél Zoltán- Mojzes Ákos - Szabó Zoltán, Műanyag fóliák csomagolástechnikai alkalmazási jellemzői és méréstechnikái III., Transpack, 2005. 5évf. 5.sz., 23-28

Dr. Pánczél Zoltán- Mojzes Ákos - Szabó Zoltán, Műanyag fóliák csomagolástechnikai alkalmazási jellemzői és méréstechnikái IV., Transpack, 2005. 5évf. 6.sz., 13-13

Ákos Mojzes, Peter Borocz, Zoltan Panczel, Ambaleje testate minutos – Logistica, Cargo&Bus, octoberie 2007 (Romania, 47-48

Dr. Pánczél Zoltán, FIBC types and performance tests for non-dangerous and dangerous filling material, Indian Textile News, 2003 Impakt faktor 3.1, 88-93

Dr. Pánczél Zoltán, Csomagolásvizsgáló laboratórium létesítése és mérési tapasztalatai a KTMF-en, VII. Fuvarozók és Fuvaroztatók Konferenciája, Balatonfüred 1984, 56-68

Dr. Pánczél Zoltán, Szállítási igénybevételek és laboratóriumi szimulációja, Közl. Nyári Egyetem, Győr 1985, 23-30

Dr. Pánczél Zoltán, Verpackungsprüflabor an der Technische Hochschule (Győr), Verpackungsprüflabor an der Technische Hochschule (Győr), Seminar 1989, december 11-12. Berlin, 86-89

Dr Pánczél Zoltán – Mojzes Ákos, Importance of package planning and laboratory testing from the aspect of the logistic stresses, during transportation and warehousing, Management of manufacturing systems, 2006, Slovakia, 64-69

A disszertációban hivatkozott publikációk listája

Pánczél Z., A csomagolás logisztikai jelentősége, Magyar Logisztikai Egyesület, Logisztikai Évkönyv, 2002, 147-155

Dr. Pánczél Zoltán - Mojzes Ákos, Fejlesztési – tervezési irányzatok a csomagolástechnika műszaki, gazdasági és ökológiai egyensúlyban betöltött szerepének optimalizálására, I. Logisztikai Rendszerek és Elméletek Tudományos Konferencia, Győr, 2007 nov.29, 20-27

Pánczél Z., Tóth L., Logisztikai szempontú csomagolástervezés az igénybevételek laboratóriumi szimulálásával, Transpack 2évf. 1.sz. (jan.- febr.), 2002

Pánczél Z., Zsoldos B., HPL csomagolóeszközök logisztikai igénybevétele és reológiai tulajdonságai, Papíripari Tudományos Egyesület – Feldolgozóipari Napok Eger, 2001, 34-39

Pánczél Z., A halmazolási pontatlanság hatása a HPL dobozok tartós teherbírására Dunapack Rt, 1998., (kutatási jelentés)

Pánczél Z., Tóth L., Zsoldos B., Hullámpapírlemez dobozok reológiai tulajdonságai Papírip. és Nyomdaipar, 1998. 42-55.sz. p. 183-187.

Pánczél Z., Különböző összetételű HPL dobozok tartós teherbírásának vizsgálata , Dunapack Rt. – Széchenyi István Egyetem kutatási projekt, Tervezési segédlet, 2002

Pánczél Z., Mojzes Á.,- HPL dobozok tartós teherbírásának tervezési lehetőségei I.-II. Transpack 3. évf. 5.sz-6.sz.

Pánczél Z., A HPL dobozok hossz-, szélesség arányának és magasságának befolyása a tartós teherbírásra Dunapack, (kutatási jelentés), 1999.

Pánczél Z., A HPL csomagolóeszközök mechanikai modellezése, Dunapack Rt., kutatási jelentés, 1996