

**DR. PÁNCZÉL ZOLTÁN\***

**LOGISZTIKAI SZEMPONTÚ CSOMAGOLÁS-  
TERVEZÉS AZ IGÉNYBEVÉTELEK  
LABORATÓRIUMI SZIMULÁLÁSÁVAL**

**1. A LOGISZTIKAI CSOMAGOLÁSTERVEZÉS JELENTŐSÉGE**

Még napjainkban is gyakran előfordul, hogy a megtermelt javak fogyasztási csomagolását a szállítási csomagolástól elkülönülten, főként csak marketing és értékesítési szempontok alapján választják meg, és méreteit, tömegét, igénybevétel-állóságát nem illesztik az értékesítési lánc logisztikai feltételeihez.

A Széchenyi István Főiskolán 1980 óta működik Csomagolásvizsgáló Laboratórium, és az azóta végzett vizsgálatok tapasztalatait feldolgozva rájöttünk arra, hogy a csomagolandó terméket, és az ahhoz kapcsolódó fogyasztói-, gyűjtő-, és szállítási-csomagolást a szóba jöhető szállítási láncok és szállítási módok figyelembevételével rendszerszemléletben kell megtervezni. A tervezés első lépéseként meg kell határozni, hogy az adott termék a várható logisztikai igénybevételeket egyáltalán képes-e elviselni gazdaságos csomagolási védelmi rendszerrel. A szállítás közbeni árukárok gyakori előfordulása azt mutatja, hogy a gyártóművek nem ismerik eléggé a szállítási láncban várható igénybevételeket. Tapasztalataink szerint a leggyakoribb károkozó tényezők a szállítási láncban előforduló statikus és dinamikus mechanikai igénybevételek (pl. statikus és dinamikus halmazterhelés, leesés, felborulás, tartós rázás stb.) és az időjárás változásaiból származó környezeti igénybevételek (pl. hideg, ill. meleg klíma és ennek váltakozása, a légnedvesség tartalom és annak változásai, csapadék, napsugárzás által okozott extra magas hőmérséklet, por stb.). Ha ezek ellen csak túl magas csomagolási költség ráfordítással védekezhetünk, amely a termék árában már nem

---

\* Széchenyi István Egyetem, Győr, Logisztikai és Szállítmányozási Tanszék, főiskolai docens.

érvényesíthető, akkor az egész kereskedelmi tevékenység abban a relációban gazdaságtalanná válik.

Nagy távolságú értékesítési láncoknál másik alapvető gazdaságosságot befolyásoló tényező, hogy a szállító eszközök a termék-csomagolás rendszerekkel racionálisan kihasználhatók legyen. Késztermékeknél ez a kihasználás általában csak térfogatilag lehetséges, az alacsony fajlagos tömegek miatt. Még fontosabb a szállítóeszközök jó térfogat kihasználása akkor, ha szabályozott hőmérsékletű szállítási láncot igényel a termék, pl.: mélyhűtött élelmiszerek, hűtött friss zöldség, gyümölcs, hőre elbomló növényvédő szerek, gyógyszerek, fokozott gázképződést okozó egyes veszélyes anyagok stb. szállítása történik.

Az igénybevételek és az áru tulajdonságok alapján a logisztikai csomagolástervezés folyamata a következő:

1. A termék érzékenységének meghatározása
2. A szállítóeszközök geometriai mérethatárainak felmérése
3. A logisztikai láncban a tömeg és területi határok meghatározása
4. A logisztikában várható szállítási igénybevételek meghatározása
5. A termék párnázásának megtervezése, mellyel a termék térfogatát mindhárom dimenzióban meg kell növelni, hogy a szükséges mozgáscsillapító és párasemlegesítő anyagok elhelyezhetők legyenek
6. A termék elhelyezési pozícióinak meghatározása (pl.: állítva, fektetve, ill. kombináltan)
7. A szállítóeszköz geometriai méreteiből kiindulva a gyűjtő és fogyasztási csomagolás geometriai változatainak permutációja alapján az optimális elhelyezés és az azokhoz tartozó fogyasztói- és gyűjtőcsomagolás méretek kiválasztása (a változatok gyakran nagy száma miatt számítógépes tervezés igénybevételére van gyakran szükség)
8. A kiválasztott elrendezési terv alapján a fogyasztói- és gyűjtőcsomagolás, az egység rakomány képzés és annak rögzítése, és a rakományok járművön való elhelyezésének és a rakomány rögzítésének valamint az esetlegesen fennmaradó üres terek kitöltésének megtervezése
9. A megtervezett csomagolási rendszerből vizsgálati minta készítése, melyet az igénybevételek laboratóriumi szimulálásával alkalmassági vizsgálatnak kell alávetni
10. A csomagoláshoz felhasznált anyagok ill. eszközök specifikációinak elkészítése a tűrések megadásával
11. Eljárás kidolgozása a sorozatban beérkező csomagolóanyagok és eszközök minőségi átvételére

Amint a felsorolásból látható, a termék- csomagolás rendszerek megtervezése bonyolult feladat. Nem véletlen a szállítási károk gyakori előfordulása, hiszen még napjainkban is gyakran tervezés helyett empirikus módszerekkel próbálják a rendszereket összeállítani.

## 2. A LOGISZTIKAI LÁNCBAN A TERMÉKCSOMAGOLÁS RENDSZEREKET ÉRŐ IGÉNYBEVÉTELEK ÉS LABORATÓRIUMI MODELLEZÉSÜK

A gyakorlatban a szállítás útvonalától függően a szállított árukat nagyon sokféle külső károsító hatás érheti. Ezek közül most csak a leggyakrabban előforduló, ill. leggyakoribb károkozó tényezőket emeljük ki:

### 2.1. *Halmazterhelés*

Mind a szállítóeszközök, mind a raktári berendezések belmagasságai igénylik a csomagolt áruk egymásra rakását. Az esetek többségében a rakodólapon képzett egységcsomagolókat is több rétegben helyezzük egymásra. A gyakorlatban erre általában fel is szoktak készülni, azonban két fontos befolyásoló tényezőt figyelmen kívül szoktak hagyni.

- Az ún. gyűjtőszállításnál (posta, expressz áru szállítók, légi áruszállítás) nagyon sokféle egyedi csomagolt áru helyezendő el, amelyeknél a szállító számára a termék-csomagolás rendszer teherbírása nem ismert, és ebben az esetben a halmazok képzése a rakodást végző személyzet megérzésére van bízva. Az esetek döntő többségében a csomagokon sem tüntetik fel a halmazolhatóságra utaló adatokat vagy jelöléseket, legfeljebb a feladáskor a feladó állomás személyzetével szóban közlik, hogy mire célszerű ügyelni. Azonban ezek a szállítási rendszerek többszöri átrakást és ennek megfelelően többszöri személyzetváltást is jelent, és a még meglévő kezelési információ sem áramlik tovább. Az ilyen rendszerekben általában a nagyobb terjedelmű csomagokat helyezik alulra, és ha úgy érzik, hogy ez elég teherbíró további kisebb csomagokat helyeznek rá. Hogy ez a gyakorlat mennyire helytelen, azt a csomagsérülések nagy száma mutatja. Az a cég, amelyik ilyen rendszerben adja föl a csomagolt áruját, jól teszi, ha már a tervezés időszakában figyelembe veszi a szokásosnál várhatóan jóval erősebb igénybevételt.
- Sík rakodólapos egységcsomagolóknál az esetek többségében a gyakorlatban többé-kevésbé kalkulálni szoktak a halmazterheléssel, azonban figyelmen kívül hagyják, hogy a kritikus terhelési keresztmetszet az esetek döntő többségében nem a legalsó rakomány legalsó csomagsorára esik, hanem a halmazban fölötte lévő rakodólap lábösszekötői csak a legfelső és középső csomagsort terhelik. Ez azt jelenti, hogy merevebb csomagolási rendszerek esetén hogy a lábösszekötő által nem terhelt csomagok a teherviselésben egyáltalán nem vesznek részt. A gyakorlatban a helyzetet tovább szokta rontani, hogy sok csomagolással a rakodólap teljes felülete nem fedhető le, és így a terhelő lábösszekötő alá is a lábösszekötőnél jóval kisebb csomagfelület kerül, amely a lokális terhelést tovább növeli. További gyengítő tényező, hogy a halmazolást végző anyagmozgató gépek nem tudják a rakatokat pontosan egymásra helyezni, és itt a helyi túlterhelés mellett még stabilitási problémákkal is számolni kell. Hasonló extrém igénybevételhez vezet amennyiben a terhelő rakat rakodólapjának lábösszekötői sérültek törtek, és így a teher átadó felület radikálisan lecsökkent. Szintén gyakran előfordul, hogy pontatlan csomag elhelyezés miatt a rakodólap felső síkja egyenetlenné válik, ilyenkor nyilvánvalóan csak a magaságból kilógó csomagok terheltek.

A halmazolthatóság egyik sajátos problémája, hogy a terhelés első időszakában látszólag hibátlannak tűnő halmazok egyszerre csak megroggyannak, összeomlanak, leborulnak. Ezzel a jelenséggel a reológia nevű tudományág foglalkozik, ami azt jelenti, hogy a csomagolóanyagok többsége tartós terhelés során egyszerre szenved rugalmas alakváltozást ún. folyási alakváltozást (a terhelés növelése nélküli deformáció) és maradó alakváltozást (a terhelés megszüntetése után a terhelt anyag nem nyeri vissza eredeti terhelés előtti méretét). A reológiai probléma még akkor is fennáll, ha előtte rövid időtartamú igénybevételi méréseket végzünk, de az ilyen jelegű szilárdság mérés nem pontosan modellezi az illető anyag tartós terhelés alatti viselkedését. Reológiai szempontból főként a papír és műanyag alapú csomagolószerek a legérzékenyebbek, és amelyek tulajdonságait jelentősen befolyásolja a hőmérséklet változása is.

A halmazterhelés laboratóriumi szimulálását az egyes ábrán látható terhelő berendezéssel végezzük. Az 1. ábrán üvegekből képzett egységakomány halmazolthatósági vizsgálata látható, és az egységakományban egyes üvegeket erőmérő cellák helyettesítenek, hogy az egy üvegre jutó terhelés is meghatározható legyen. A terhelés időtartama az igényeknek megfelelően tág határok között változtatható.



1. ábra  
*Halmazterhelés vizsgálat egységakományon*

## 2.2. Tartós rázás

A logisztikában a szállítási folyamatok közben a tartós rázási igénybevételek elkerülhetetlenek. A termék-csomagolás rendszerekre ható rázó igénybevétel a pálya egyenetlenségeiből, a járművekben lévő forgómozgást végző kiegyenlíthetetlen tömegekből a jármű rúgózási rendszeréből és a pályántartás tulajdonságaiból együttesen adódnak. A rakfelületen mérhető lengések úgynevezett sztochasztikus jellegűek, ami azt jelenti, hogy időben mind a rezgés frekvencia, mind amplitúdó összetétele erősen ingadozik. A rezgések mind vízszintesen hossz- és keresztirányban, mind függőlegesen fellépnek, és mindhárom térirányban ezek egyidőben egyenes vonalú rezgések, valamint a jármű rakomány rendszer tömegközéppontjához képest végzett szöglengések. A szöglengések további kellemetlen tulajdonsága, hogy a tömegközépponttól távolodva a sugárral arányosan egyre nagyobb intenzitású. A lengések amplitúdója bizonyos frekvenciákon a nehézségi gyorsulás mértékét is meghaladják, ami azzal jár, hogy a rakfelületen elhelyezett rakomány egy pillanatra a rakfelülettől elválik, ezalatt a rakfelület további rezgőmozgást végez, és a rakomány a rakfelületre visszaeséskor már nem ugyanabba a pozícióba esik vissza. Természetesen a felugrás időtartama alatt, a rakfelület és a rakomány között az elmozdulást akadályozó súrlódó erő megszűnik, és ha eközben a jármű íven halad, fékez vagy gyorsít, ill., ha a rakfelület nem vízszintes igen jelentős rakományelmozdulások keletkezhetnek, és a rakomány a jármű falainak ütközhet.

A különböző járműveken előforduló rezgésviszonyokat megfelelő műszerrendszerekkel mérni lehet. Ilyen műszeres méréseket laboratóriumunk már nagy számban végzett, és mára számos adat áll rendelkezésre a legkülönbözőbb közlekedési ágakból.

Laboratóriumunkban a rázó igénybevételt elektrohidraulikusan működő rázóasztalon állítjuk elő. A rázóasztal 0 – 35 Hz között, kötött amplitúdójú szinusz formájú rezgéseket végez. A sztochasztikus rezgések előállítására azért nincs szükség, mert a Fourier-transzformáció alapján minden sztochasztikus rezgés egy meghatározott frekvenciájú és amplitúdójú szinuszos rezgésből összeállítható.

A rázóasztali vizsgálatok két jelenség elemzésére alkalmasak:

- Kisebb csomagegységekből képzett egységtrakományok rögzítettségének vizsgálata, hogy azok a rázás hatására végzett lengések hatására egymáshoz képest hogy mozdulnak el, ill. ezt a rázást tartósan végezve kell-e számolni kifáradás jellegű igénybevétellel.
- Rázó igénybevétel hatására léphet fel az ún. rezonancia jelenség, mely azt jelenti, hogy a gerjesztő rezgés hatására akár a csomagon, akár a becsomagolt termék valamelyik elemén nagyobb intenzitású rezgés keletkezik a gerjesztő rezgésnél. A mechanikai rezgéseknél elvileg a rezonancia hatására végtelen intenzitású rezgés is felléphet, a gyakorlatban a méréseink szerint ez a növekedés hat-nyolcszoros, de ez is sokszor elegendő intenzitású arra, hogy pl. háztartási berendezések, szórakoztató elektronikai termékek, műszerek kisgépek egyes gépelemeinek akár a törését leszakadását is okozhatják. Ez a jelenség azért is nagyon veszélyes, mert a közlekedési gyakorlatban az átadás – átvétel a csomagolás külső állapota alapján történik, és a rezgések hatására külső sérülés gyakran nem történik, csak maga a termék károsodik belülről, ebből a jelenségből már számtalan jogvita is származott.

A járműveken is gyakran halmazolják a rakomány egységeket. Ilyen esetekben a rázóvizsgálatot a teljes rakományhalmazon kell elvégezni, mivel más mód nincs a teljes halmaz rezgési tulajdonságainak vizsgálatára.

A rázóasztali vizsgálatok arra is alkalmasak, hogy a csomagolásokba beépített mozgás csillapító párnázó elemek csillapítási karakterisztikáit meghatározzuk, ill. a szükséges csillapítást megtervezzük. A csillapító anyagok vastagságának növelésével a rezgési amplitúdók csökkenthetők. Azonban egy gyakori tévhitet el kell oszlatni, a párnázó anyagok vastagságának változtatásával a rezgés frekvenciája nem hangolható el, ami azért kellemetlen, mert ha egy adott frekvencián rezonancia lép fel a becsomagolt terméken, hiába változtatjuk a párnázás vastagságát, a károsodás mértéke nem fog változni. A 2. ábrán rázóasztali vizsgálat látható, a megfelelő műszerrendszerrel együtt.

Egyes rázó igénybevételek az ember számára szinte érezhetetlenek, ugyanakkor jelentős kárt tudnak okozni. Erre vonatkozóan érdekes eset, hogy egyes repülőgép típusokon szállított és papírszap tálcákba csomagolt tojásokon nagymérvű töréskár keletkezett, és a vizsgálatokból kiderült, hogy a repülőgép hajtómű alig érzékelhető nagy frekvenciás rezgése okozta a tojáshéj törését.

A rezgés a friss zöldség- és gyümölcstermékeknél is súlyos nyomási károkat is tud okozni, melyek a termék korai megromlásához vezetnek.



2. ábra

*Hűtőszekrény rázóvizsgálata szinuszos változtatható frekvenciájú rázással*

### **2.3. Ütési, ütközési igénybevételek**

Ütési, ütközési igénybevételek a logisztika során alapvetően két forrásból szoktak keletkezni. Független irányú ütések többnyire a csomagolt termékek leesésekor keletkeznek, de ilyen hatást fejt ki az emelőgépekkel történő durva teher lehelyezése is. Vízszintes ütközések a járművek fékezése, gyorsítása és ívben haladására következhet be. Vízszintes ütés szempontjából kiemelkedő a hajók kikötésekor a partfalnak való durva nekiütközés, és vasúti közlekedés esetén a tolatási lökés. Ugyanilyen durva igénybevételt okoz a szállító konténerek rakodása során a konténer oldalfalak egymásra ütközése.

Az ütési igénybevételekre a jellemző, hogy mind az ütések száma, mind azok intenzitása még ugyanazon szállítási lánc esetén is rendkívül nagy eltérést mutathat. Sok esetben emberi tényezőkön múlik, hogy egyáltalán előfordul-e ilyen jelenség, pl. közúti szállítás esetén rossz minőségű útszakaszra történő nagy sebességű ráhajítás, durva fékezés, vasúti szállításnál a kocsirendezést végzők begyakorlottsága, ill. gondossága, tengerhajózásnál gyakran időjárási viszonyok is befolyásolhatják a kikötői manőverezést. Ugyanakkor az ütközési igénybevételek ismerete nagyon fontos lenne, mivel az ellenük való védekezés mind műszaki megoldásban, mind költség ráfordításban igen jelentős. Például az ütési igénybevételek csökkentése a párnázó anyag fékútjának növelésével érhető csak el, és nyilván való, hogy vastagabb párnázást egyben a csomagolás külső geometriai méreteinek növekedését vonja maga után, ami szállítás technikai szempontból holt térnek minősül, és így azonos járműterefogatba kevesebb csomagolt termék kerül, és megnövekszik az egységre jutó szállítási költség.

A vízszintes ütő igénybevételek hatására nemcsak a csomagolt termékek sérülhetnek, hanem teljes rakományok is megcsúszhatnak vagy megbillenhetnek. A járműveken a teljesen szoros rakodás a gyakorlatban gyakran nem valósítható meg a rakomány egyenletes tömeg elosztása miatt, az így létrejövő hézagok, pl. fékezés hatására a rakat tömegközéppont magasságától függően vagy megcsúszik, vagy megbillen és különösen a megbillenő rakatok a ferde élszerű ütközések hatására, igen súlyos sérüléseket tudnak szenvedni.

Az ütési igénybevételek hatását nagymértékben befolyásolja, hogy az ütés a csomag valamelyik teljes felületét, valamelyik élét vagy valamelyik sarkát érinti. Elvileg legkedvezőtlenebb a teljes lapra történő esés, mivel általában ezekben az irányokban legkisebb a párnázási fékút. A gyakorlatban nagyon sok függ a becsomagolt termék alakjától, annak műszaki jellemzőitől és a különböző helyeken való terhelhetőségétől.

Laboratóriumunkban az ütési igénybevételeket lejtópályás ütköztető berendezésen ill. ejtőberendezésen vizsgáljuk. Az ejtőberendezések nagy hátránya, hogy az elengedés után a nem szimmetrikus tömegeloszlású termék-csomagolás rendszerek esés közben elfordulhatnak, és a felütközés nem a kívánt lapra, élre, ill. csúcsra következik be. Emiatt kényes esetekben a 3. számú ábrán látható lejtópályás ütköztető berendezést használjuk, és a berendezés ütköző kocsiján a vizsgálandó alany jól pozicionálható.

A termékek ütés érzékenységet ütőasztalon vizsgáljuk. Az ütőasztalon az ütési jelalak amplitúdója az ütés lefutás időtartama, az ütés - soronkövetkezés frekvenciája és az ütések darabszáma egyaránt tág határok között állítható. Az ilyen kísérletekből mechanikai méretezéshez számszerű mennyiségeket kapunk, míg

korábban ennek jellemzésére csak nehezen megfogható verbális kategóriákat határoztak meg, pl. nagyon érzékeny.



3. ábra  
*Vízszintes ütészivsgálat lejtőpályás ütköztető berendezésen*

#### **2.4. A klimatikus igénybevételek**

A logisztikában – mivel az áruáramlások zöme szabadtéren zajlik, és időtartama is jelentős – a meteorológiai viszonyok és változásai nagymértékben hatnak a termék-csomagolás rendszerekre. Vizsgálati tapasztalataink szerint, a leggyakrabban károsító tényezők:

- magas hőmérséklet;
- alacsony hőmérséklet;
- gyors hőmérsékletváltozás;
- magas relatív légnedvesség-tartalom;
- közvetlen csapadék;
- közvetett csapadék (harmat, dér, zúzmara);
- napsugárzás;
- korrozív atmoszféra (pl. tengeri sós köd).

Természetesen a logisztikában a mechanikai igénybevételek a klíma igénybevételekkel együtt hatnak, és a következő kombinált károsító tényezőkkel kell számolni:

- nagy légnedvesség hatására páralecsapódás a becsomagolt terméken;



- nagy légnedvesség vagy csapadék hatására az arra érzékeny csomagolóanyagok szilárdság vesztese;
- magas hőmérsékleten egyes csomagolóanyagok lágyulása;
- alacsony hőmérsékleten egyes csomagolóanyagok elridegedése;
- egyes csomagolások szétfagyása;
- változó hőmérséklet hatására a becsomagolt termék térfogatváltozása, és az ebből eredő túlnyomás, ill. vákuum;
- csomagolt fémtermékeken a magas nedvességtartalom miatti korrózió.

A klíma-igénybevételeket klímakamrában modellezzük, melyben  $-40^{\circ}\text{C}$ -tól  $+80^{\circ}\text{C}$ -ig állítható a hőmérséklet, mely tartományon belül tetszés szerinti légnedvesség tartalmat tudunk beállítani. A kamra arra is alkalmas, hogy a párasító berendezéssel sós ködöt állítsunk elő.

A mechanikai vizsgálatokat a megfelelő klíma előkészítés után elvégezve választ kapunk arra, hogy a logisztikában előforduló klímák mindegyikén a termék-csomagolás rendszerek a mechanikai hatásokat képesek elviselni.

### 3. A VESZÉLYES ÁRUK LOGISZTIKÁJA

A logisztikában számos olyan áru áramlása történik, amely a közlekedés üzemét, és annak környezetét akutan veszélyeztetik. A veszélyes áruk szállítására világszerte törvényi szabályozás van, melyek a következők:

- európai, nemzetközi, közúti közlekedés esetén: ADR;
- COTIF tagországokba történő nemzetközi vasúti fuvarozás esetén: RID;
- tengerhajózás esetén: IMDG kódex;
- légi szállítás esetén: IATA.

A szabályozások egyik legfontosabb része a veszélyes áruk csomagolására vonatkozik, mivel a káros hatások elleni közvetlen védelmet a csomagolásnak kell biztosítani. Ennek megfelelően a veszélyes árukhoz alkalmazott csomagolásoknak típusvizsgálaton kell átesni, és a megfelelő hatóságokkal engedélyeztetni kell. Magyarországon a veszélyes áru csomagolások típusvizsgálatát laboratóriumunk végzi, míg az engedélyező hatóság a Területi Műszaki Biztonsági Engedélyezési Felügyelet.

A közhiedelemmel ellentétben a veszélyes áru fogalmkörébe rendkívül széles áruskála tartozik, pl. gyógyszerek, festékek, hígítók, növényvédő szerek, műtrágyák, kozmetikai szerek, aeroszolok stb.

A veszélyes áruk logisztikája mind műszakilag, mind szervezésileg jelentősen eltér az átlagos áruk logisztikájától, és mindkét terület jelentős szakképzettséget igényel.