

2. A csomagolás jelentősége a logisztikában

2.1. Általános alapelvek

A logisztikában a csomagolt termékeket a termelés helyéről a felhasználás, illetve a fogyasztás helyére kell eljuttatni úgy, hogy a becsomagolt termék semmilyen külső- és/vagy belső károsodást ne szenvedjen, a csomagolási rendszer maradjon annyira ép, hogy az értékesítést ne gátolja. Ahhoz, hogy a csomagolási rendszert, illetve annak védelmi funkcióját pontosan tervezni tudjuk a következőket kell ismernünk:

- A kibocsátóhely és a fogadóhely térbeli elhelyezkedése és távolsága;
- Az alkalmazható szállítási lánc közlekedéstechnikai jellemzői (pl.: közlekedési ágak, szállító járművek raktér, geometria méretek, teherbírások, stb.);
- A várható különböző külső hatások, melyek a csomagolt terméket, rakományt érik;
- A logisztikába bekerülő terméknek a logisztikában várható külső hatásokkal szembeni ellenálló-képessége csomagolás nélkül.

Amennyiben a termék önmagában jól tűri a logisztikából származó külső hatásokat, a csomagolás védelmi funkciója kismértékű lesz és ennél fogva jelentős csomagolási költség megtakarítás érhető el. Amennyiben a termék a logisztikában várható külső hatásokra érzékeny, a csomagolási rendszer védelmi funkciójával szemben magasabb követelményeket kell támasztani, ami természetesen együtt jár a csomagolási költségek növekedésével. Ez adott esetben oly mértékig megnövekedhet, hogy egy adott termék adott logisztikai rendszerben az aránytalanul magas védelmi költségek miatt értékesíthetatlenné válik.

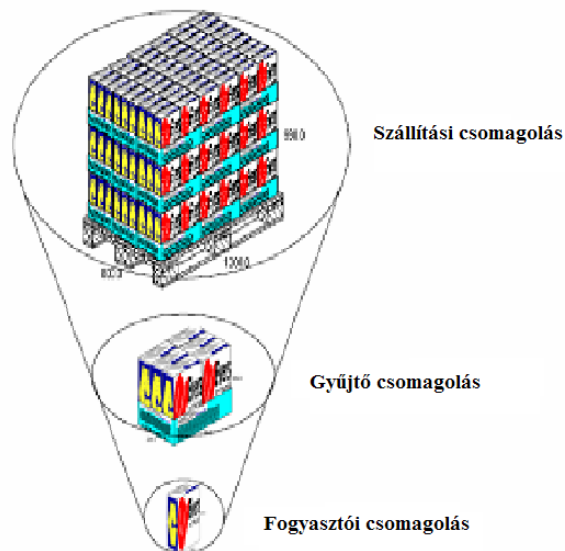
A fenti gondolatmenet gyakorlati alkalmazása első látásra viszonylag egyszerűnek tűnik, azonban ha a folyamatba jobban belegondolunk, azt találjuk, hogy mindkét felsorolt terület számos véletlenszerű jelenséget tartalmaz. A termék oldaláról megközelítve ez azt jelenti, hogy például számtalan lehetséges irányból véletlenszerű nagyságú és irányú ütést okozó erőhatások hathatnak. Ezek hatásideje véletlenszerű időtartamú, melynek következtében a legkülönbözőbb energia átvadások történhetnek. A termék szempontjából egyáltalán nem mindegy, hogy annak egyes belső elemeire ezek hogyan adódnak át és adott esetben milyen károsodást okozhatnak. Ehhez hasonlóan bármilyen külső hatás ugyanilyen véletlenszerű károsodást okozhat a terméken, vagy annak egyes komponensein. Nagyon sok ható tényező nem a hatással magával, hanem a hatás időbeli folyamatával, intenzitásának megváltozásával okozhat károkat. Ha arra gondolunk, hogy egy terméket mely évszakban, milyen klímazónákon keresztül haladva juttathatunk el a célállomáshoz, akkor az évszaktól, napszaktól, az aktuális időjárási körülményektől függően a legkülönbözőbb kombinációjú klimatikus hatások érhetik. Hogy ezek közül melyik folyamatváltozat károsítja a terméket, azt csak számtalan vizsgálat tudja meghatározni.

Ugyanez a helyzet a logisztikából érkező külső hatásokkal kapcsolatban is. Igénybevétel szempontjából ugyanis egyáltalán nem mindegy, hogy milyen közlekedési ág kombinációját használjuk. Nem mindegy, hogy ezen belül aktuálisan milyen járműtípus kerülhet alkalmazásra, a konkrét járműnek milyen a műszaki állapota és ebből következően milyen futási jellemzőkkel kell számolnunk, milyen a mindenkori pálya állapota, mennyire függ a jármű futása a kezelő személyzet begyakorlottságától, és adott konkrét esetben éppen milyen kezelőszeméllyel kell számolnunk. Hasonlóképpen számtalan változat lehetséges, hogy egy adott rakomány milyen komponensekből adódik össze, ezek egymást képesek-e támasztani, vagy pedig a rakomány számos, különböző geometriai méretű, tömegű és alakú elemből áll. Fontos befolyásoló tényező a termék tömegeloszlása is. A mai termelési és elosztási logisztikában a csomagolási rendszereknek,

ill. azok hatékony megtervezésének, a csomagolóanyagok megválasztásának a termék értékesítése szempontjából döntő jelentősége van.

Logisztikai szempontból a csomagolási rendszer (10. ábra) a következő alrendszerekből áll:

- termék
- fogyasztói csomagolás (a fogyasztói (elsődleges) csomagolás, amely értékesítési egységet képez a végső felhasználó vagy fogyasztó számára a vásárláskor, illetve a védendő termékkel közvetlenül érintkezik)
- gyűjtő csomagolás (gyűjtő- (másodlagos) csomagolás az, amely a vásárlás helyén meghatározott értékesítési egységet foglal össze, a végső felhasználó vagy fogyasztó részére történő értékesítéstől függetlenül, vagy a fogyasztói csomagolástól elkülöníthető anélkül, hogy annak tulajdonságait megváltoztatná)
- szállítási csomagolás és / vagy egységtrakomány képzés (szállítási (harmadlagos) csomagolás: a fogyasztói vagy gyűjtőcsomagolás kezelését és szállítását, továbbá a fizikai kezelésnél és szállításnál történő károsodás elkerülését elősegítő csomagolás)
- rakományképzés a járművek rakterében ill. szállító konténerben
- rakományrögzítés



10. ábra Csomagolási rendszer felépítése

A csomagolási rendszert azért kell egységben kezelnünk, mivel valamennyi fenti alrendszernek számos strukturális változata lehetséges. Így a feladat az, hogy műszaki-gazdasági szempontból a teljes rendszer költségminimuma elérhető, vagy legalábbis megközelíthető legyen.

A csomagolási rendszer főbb funkciói a következők:

- a terméket óvják meg a logisztikában fellépő környezeti hatásoktól
- szükség esetén a környezetet óvja meg a logisztikában továbbított és „veszélyes” terméktől, árutól
- a csomagolási rendszer minél kisebb tömegű és terjedelmű legyen úgy, hogy térfogata a lehető legkisebb mértékben haladjon meg a termék térfogatát, ezáltal a szállító eszközök ill. raktárak kapacitását minél jobban kihasználhassuk, ezzel egyúttal a logisztikai költségek csökkenésének irányába is hatunk

- a csomagolási rendszer, miután funkcióját teljesítette, könnyen eltávolítható legyen és a csomagolóhoz felhasznált anyagok lehetőleg újra feldolgozhatók, ill. minden különösebb műszaki feltétel nélkül megsemmisíthetők legyenek.

Természetesen a fenti felsoroláson kívül a csomagolások klasszikus funkcióit is el kell látnia (pl. a vásárló tájékoztatása, a felhasználás elősegítése stb.).

Sok termék esetén gyakorlatilag a csomagolási rendszer távolsággal arányos védelmi funkciónövekedése és az ebből származó csomagolási költségnövekedés szabja meg az értékesítés térbeli határait.

A logisztikai szempontú csomagolástervezésben két irányból kell kiindulnunk:

- a csomagolandó termék érzékenységi fokának meghatározása műszaki korrektséggel, a logisztikában fellépő hatásokkal szemben.
- az adott termékre kiválasztott logisztikai rendszerben a várható hatások pontos definiálása.

Amennyiben a kiválasztott logisztikai rendszerben a terméket érő hatások nagyobbak, mint amit a termék elviselni képes, a kettő különbségét a csomagolási rendszernek kell elviselni. Azaz úgy is fogalmazhatunk, hogy a csomagolás védelmi funkcióját erre az igénybevételi fokra kell terveznünk.

Természetesen a helyzetet bonyolítja, hogy különböző logisztikai láncok esetén sztochasztikus hatásokkal kell számolnunk. Sok a véletlen jelenség, és így minden egyes igénybevétel, ill. igénybevételi nagyságrend csak valószínűségi változóval jellemezhető, így a tervezőnek kell eldönteni, hogy milyen megbízhatósággal akarja a termékét megvédeni.

2.2. A csomagolt árukat a logisztikában érő hatások

Egészen a közelmúltig a becsomagolt termékekkel kapcsolatban nagyon kevés adat állt a logisztikai csomagolástervező rendelkezésére, így maga a tervezési eljárás is tisztán empirikus volt. Napjainkban azonban, ha nem is termékenként, de termelési ágazatonként egyre több iparterület határozza meg, hogy a termék milyen környezeti hatásoknak lehet kitéve. Egyelőre főként a villamos termékekre és a telekommunikációs berendezésekre adnak meg olyan paramétereket, amelyeket a csomagolatlan és csomagolt terméknek el kell viselnie. Ezek a szabványok abból indulnak ki, hogy a hatások absztrakt matematikai, mechanikai, fizikai paraméterekkel nem írhatók le, ezért nem tervezési alapadatokat adnak meg, hanem a külső hatások lényegét megragadva a késztermékek mintadarabjain, ill. csomagolási mintákon laboratóriumi tesztekkel definiálnak, amelyekhez a környezeti hatások szélsőértékeit adják meg. Ezek közül adott esetre ki lehet választani, hogy laboratóriumi körülmények között mely hatásokat hogyan modellezzünk. A kiértékelés módja minden esetben az, hogy a csomagolatlan és becsomagolt készülék szenvedett-e a szimulált igénybevételek során valamiféle sérülést, a készülék működik-e, ill. a külső csomagolást nem érte-e olyan hatás, amely a kezelést és értékesítést gátolná. Az igénybevételek laboratóriumi szimulációját két tényező is megköveteli:

- A készülékek külső és belső felépítése és annak bonyolultsága nem teszi lehetővé a szilárdságtani számításokat, ill. az egyéb klímaváltozásokból származó hatások műszakilag korrekt becslését. Pontos eredményt csak a laboratóriumi kísérlettől várhatunk.
- Ezeknek a vizsgálatoknak - ha azonos követelményeket támasztunk - reprodukálhatónak kell lenniük, hogy bármikor megismételhetők és nemzetközileg

kompatibilisek legyenek, hiszen a szabvány célja éppen az, hogy a vizsgálatot egységesítse az összehasonlíthatóság érdekében, és ez csak laboratóriumi körülmények között teljesíthető.

A villamos készülékekre az IEC állított össze környezet-állósági vizsgálati szabványt, míg a telekommunikációs eszközökre az ETSI nevű szervezet készített előírásokat. Mindkét említett szabványsorozat egyben EN szabvány is.

2.3. A logisztikában fellépő főbb mechanikai és klimatikus hatások felmérése különböző szállítási láncokra

A csomagolt termékeket érő hatások a gyakorlatban igen eltérőek lehetnek. A csomagolás minimalizálásához az szükséges, hogy az egyes szállítási relációkhoz és módokhoz tartozó hatások szélsőértékeit elviselhető határok között tartsuk.

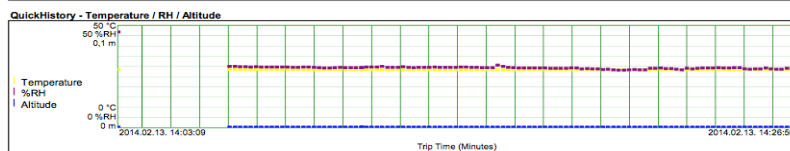
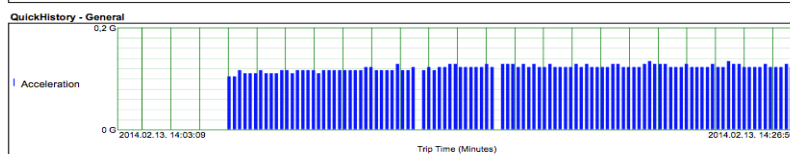
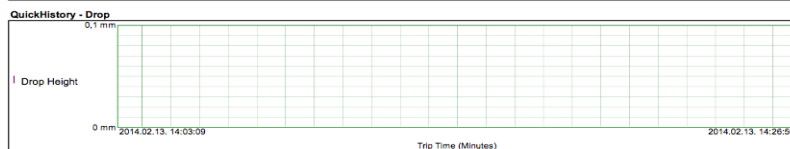
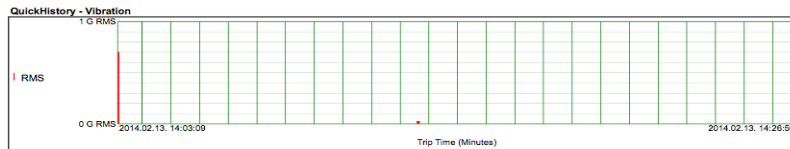
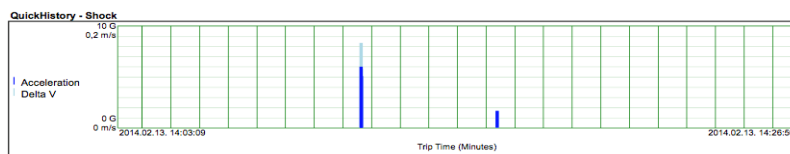
Ehhez el kell döntenünk, hogy mit tekintünk normális igénybevételnek az egyes szállítási láncokon belül, amelyre nagy valószínűséggel számíthatunk. Ha teljes biztonságra akarnánk törekedni, ahhoz már olyan mértékű „túlcsomagolásra” lenne szükségünk, amely gazdaságtalan, értelmetlen és az esetek döntő többségében kihasználatlan lenne.

A következőkben egy olyan vizsgálatot mutatunk be, amely esetén különböző cégek szállítási csomagolásaiba egy olyan kompakt műszerrendszert helyeztünk be, amely a feladástól a kicsomagolásig a következő adatokat rögzíti az idő függvényében:

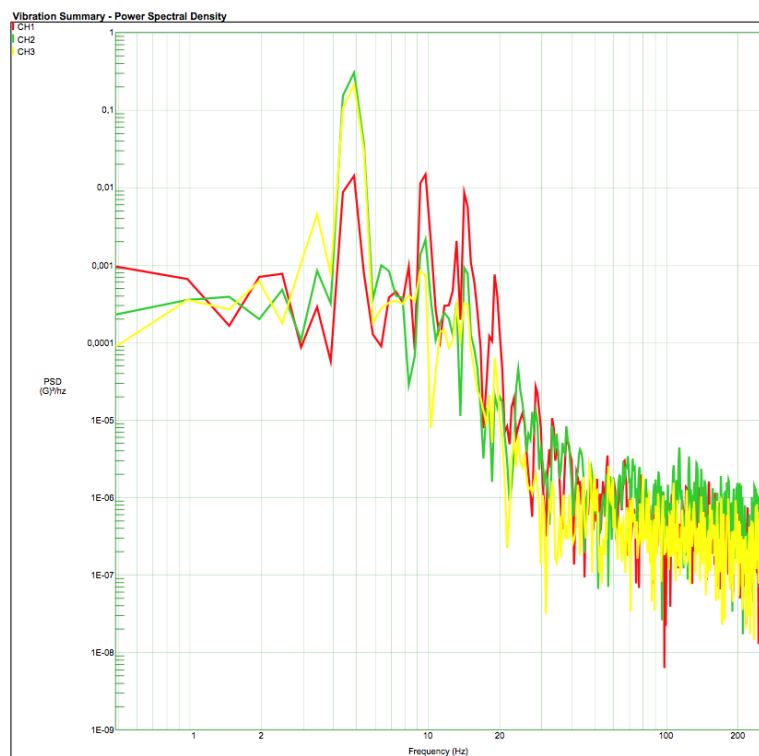
- dátum és idő
- hőmérséklet
- relatív légnedvesség tartalom (belső és külső)
- ütés- és rezgés gyorsulások az idő függvényében, a kalkulált teljesítmény sűrűség spektrummal (PSD)

A műszer – amellyel a méréseket végeztük – a következő típusú: Lansmont Shock Saver 3X90. A műszert a csomagolásból kiszedve és megfelelő szoftverrel feldolgozva az 11. ábrán bemutatott táblázatos kiértékelést kapjuk.

	General	Shock	Vibration	Drop	Total	
Signal Events:	0	2	0	0	2	Summary Events Only: Yes
Timer Events:	107	1	2	0	110	Analysis View Only: No
Total Events:	107	3	2	0	112	



Channel		Average PSD G rms	Upper Envelope G rms	Lower Envelope G rms
Channel 1	Timer	0.188 G rms	0.278 G rms	0.018 G rms
Channel 2	Timer	0.499 G rms	0.705 G rms	0.022 G rms
Channel 3	Timer	0.421 G rms	0.596 G rms	0.007 G rms



11. ábra. A Saver 3X90 műszerrendszer által felvett adatok kiértékelő dokumentuma

A műszer gyorsulásadójának rögzítési pontját úgy választottuk ki, hogy a szállító jármű rakfelületének legkedvezőtlenebb pontjára kerüljön. Esetünkben ez úgy történt, hogy a jármű rakfelületének mozgását jelentős egyszerűsítéssel lineáris időinvariáns dinamikus rendszernek tekintettük. Az időinvariáns lineáris dinamikai rendszerek másodrendű lineáris inhomogén differenciál egyenlettel modellezhetők. A vizsgált koncentrált paraméterű dinamikai rendszer szabad koordinátáit az:

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$$

n dimenziós oszlopvektorba, és a rendszerre működő gerjesztő hatások koordinátáit a szintén n dimenziós

$$\mathbf{g}(t) = [g_1(t), g_2(t), \dots, g_n(t)]^T$$

oszlopvektorba foglaljuk.

A rendszerben szereplő véges sok tömeg, tehetetlenségi nyomaték, rugómerevség, csillapítási tényező, geometriai jellemző a mozgásegyenlet

\mathbf{M} – tömegmátrixában

\mathbf{D} – csillapítási mátrixában

\mathbf{S} – merevségi mátrixában

jelenik meg. Így az n szabadságfokú rendszermozgást leíró lineáris inhomogén differenciálegyenlet rendszer a következő alakban írható le:

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{D} \dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{S} \mathbf{x}(t) = \mathbf{g}(t)$$

A kezdeti érték a t_0 kezdeti időponthoz tartozó előírt $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0$ helyzet – és $\dot{\mathbf{x}}(t_0) = \mathbf{x}_0$ sebességvektor.

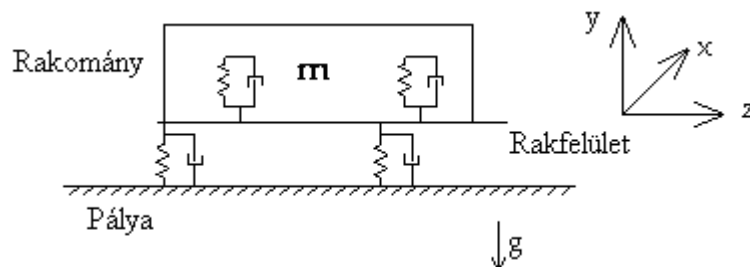
Az $\mathbf{y}(t) = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}(t) \\ \mathbf{x}(t) \end{bmatrix}^T$ mozgásállapot vektort bevezetve és a mozgásegyenletet deriválva az:

$$\dot{\mathbf{y}}(t) = \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{x}}(t) \\ \dot{\mathbf{x}}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{D}\dot{\mathbf{x}}(t) - \mathbf{M}^{-1}\mathbf{S}\mathbf{x}(t) + \mathbf{M}^{-1}\mathbf{g}(t) \\ \dot{\mathbf{x}}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{D} & -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{S} \\ \mathbf{E} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}(t) \\ \mathbf{x}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{M}^{-1}\mathbf{g}(t) \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

kifejezés adódik.

A rendszer elemei az 12. ábrán láthatók. A lineáris idő invariáns rendszer lehetőségeiből adódik, hogy mind idő-, mind frekvenciatartományban a különböző gerjesztő függvényekre adott válaszok közelítőleg meghatározhatók.

Az előzőekből adódik az is, hogy a gyorsulás szenzorokat is tartalmazó műszerrendszer „csomagját” a jármű-rakomány rendszer közös tömegközéppontjától a mindenkor x , y , z irány szerinti legtávolabbi pontjába kell elhelyezni.



12. ábra. A pálya – jármű – rakomány rendszer sematikus rendszermodellje

A felmérésünk tartalmaz közúti, vasúti, légi, tengerhajózási és ezek kombinációjából összeállított szállítási láncokat, amelyeken belül az adott csomag konténerben „utazott”, illetve egyedi csomagként gyűjtőszállításban lett továbbítva.

A szállítási károk megelőzésére célszerű, ha a 11 ábrán feltárt jellemzőket laboratóriumi körülmények között szimuláljuk és közben monitorozzuk egy adott minta egységtrakomány viselkedését.

2.4.A halmazolás befolyása a felmért dinamikai jellemzőkre

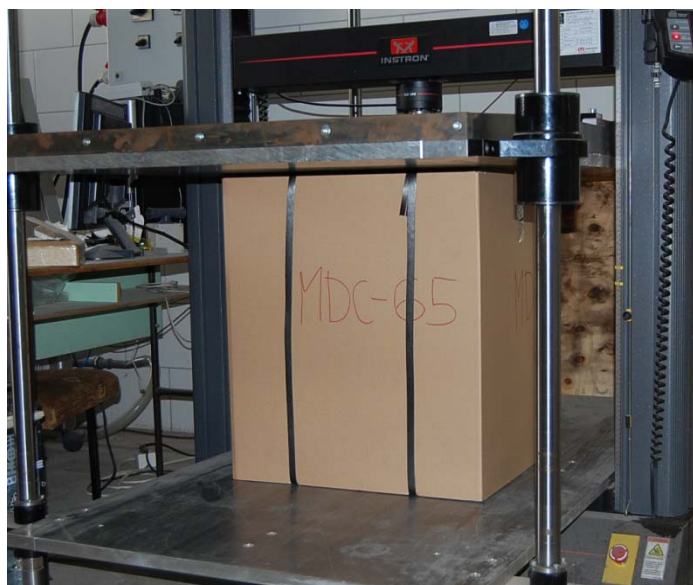
Mind a szállítóeszközök, mind a raktári berendezések belmagasságai igénylik a csomagolt áruk egymásra rakását. Az esetek többségében a rakodólapokon képzett egységtrakományokat is több rétegben helyezük egymásra. A gyakorlatban erre általában fel is szoktak készülni, azonban két fontos befolyásoló tényezőt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

- Az ún. gyűjtőszállításnál (posta, expressz áru szállítók, futár cégek, stb. által továbbított egyedi küldeménydarabok) 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 jelentenek, és a kezdetben 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 halmazolási igénybevételt.
- Sík rakodólapos egységtrakományok esetén 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 teljes legalsó csomagsorára esik, mivel a halmazban fölötte lévő rakodólap lábösszekötői csak a legszélső és középső csomagsort terhelik. Ez azt jelenti, hogy merevebb csomagolási rendszerek esetén 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, ha a terhelő rakat rakodólapjának lábösszekötői sérültek, töröttek, és így a terhet átadó felület radikálisan lecsökken. Szintén gyakran előfordul, hogy pontatlan csomagelhelyezés miatt a rakodólap felső síkja egyenetlenné válik, ilyenkor nyilvánvalóan csak a felső síkot képező néhány – a többinél magasabb - csomag terhelődik.

A halmazolhatóság egyik sajátos problémája, hogy a terhelés első időszakában látszólag hibátlanak tűnő halmazok egyszerre csak megroggyannak, összeomlanak, leborulnak. Ezzel a jelenséggel a reológia nevű tudományág foglalkozik. Ez a reológiai vizsgálat 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. Az ilyen jellegű szilárdságmérés nem pontosan modellezi az illető anyag tartós terhelés alatti viselkedését. Reológiai szempontból főként a papír és műanyag alapú csomagolószerek a legérzékenyebbek. Továbbá ezek tulajdonságait is jelentősen befolyásolja a mindenkori klíma, annak változásai, sőt a változás dinamikája is.

A halmazterhelés is modellezhető laboratóriumi körülmények között. A halmazterhelés laboratóriumi szimulálását az 13. ábrán látható terhelő berendezéssel végezhető. Példaként megemlíthető, hogy végeztünk halmazolhatóság vizsgálatot konzerves üvegekből képzett egységcsomagoláson is. Az egységcsomagoláson egyes üvegeket erőmérő cellák helyettesítenek, hogy az egy üvegre jutó terhelés is meghatározható legyen. A terhelés időtartama a konkrét feladatnak megfelelően tág határok között változtatható.



13. ábra. Halmazterhelés vizsgálat komplett töltött és lezárt csomagoláson

2.5. A valós rázkódások laboratóriumi megismételhetőségének problémája

A logisztikában a szállítási folyamatok közben a tartós rázási igénybevételek elkerülhetetlenek. A termék-csomagolás rendszerekre ható rázási igénybevétel a pálya egyenetlenségeiből, a járművekben lévő, forgómozgást végző kiegyenlítőlen tömegekből, a jármű rugózási rendszeréből, és a pályántartás tulajdonságaiból együttesen adódnak. A rakfelületen mérhető lengések sztochasztikus jellegűek, ami azt jelenti, hogy időben mind a rezgés frekvencia-, mind az amplitúdó-összetétele erősen ingadozik. A rezgések mind vízszintesen, hossz- és keresztirányban, mind függőlegesen fellépnek. Ezek mindhárom térirányban egyidőben fellépő 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 intenzitásúak. A lengések amplitúdója bizonyos frekvenciákon a nehézségi gyorsulás mértékét is meghaladják. Ez azzal jár, hogy a rakfelületen elhelyezett rakomány egy pillanatra a rakfelülettől elválik, eközben 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 ívben 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 vagy elektrodinamikus elven működő rázóasztalaon állítjuk elő. A rázóasztalok általános frekvenciatartománya 0 – 2000 Hz közötti, amelyen maximum 200 mm amplitúdójú különböző jelalakú rezgések végezhetők. A sztochasztikus rezgések előállítására külön vezérlőegység szolgál.

A rázóasztali vizsgálatok két jelenség elemzésére alkalmasak:

- Kisebb csomagegységekből képzett egységcsomagok rögzítettségének vizsgálata, hogy azok a rázás és lengések hatására egymáshoz képest hogyan mozdulnak el, ill. ezt a rázást tartósan végezve kell-e számolni kifáradás jellegű igénybevétellel. (Főként hidraulikus rázóasztalon végzett vizsgálattal).
- Rázó igénybevétel hatására fellép-e 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 méréseim szerint ez a növekedés 6-8 szoros. Ez is sokszor már elegendő intenzitású ahhoz, hogy pl. háztartási berendezések, szórakoztató elektronikai termékek, műszerek kisgépek egyes gépelemeinek akár a törését, leszakadását okozzák. Ez a jelenség azért is nagyon veszélyes, mert a közlekedési gyakorlatban az átadás – átvétel a csomagolás külső állapota alapján történik. Mivel a rezgések hatására külső sérülés gyakran nem történik, hanem csak maga a termék károsodik, ebből a jelenségből fakadóan számtalan jogvita is származhat. (Főként elektrodinamikus rázóasztalon végzett vizsgálattal).

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

A rázóasztali vizsgálatok (14. ábra) arra is alkalmasak, hogy a csomagolásokba beépített mozgást 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, mégpedig, hogy a párnázó anyagok vastagságának változtatásával a rezgés frekvenciája elhangolható. Ez nem igaz, és azért kellemetlen, mert ha egy adott frekvencián rezonancia lép fel a becsomagolt terméken, akkor hiába változtatjuk a párnázás vastagságát, a károsodás mértéke nem fog változni. A 14.a és 14.b. ábrán rázóasztali vizsgálatok láthatók a megfelelő műszerrendszerrel együtt.

A különösen magas frekvenciájú (>100Hz) rázó igénybevételek az ember számára szinte érezhetetlenek, ugyanakkor jelentős kárt tudnak okozni. Erre vonatkozóan érdekes eset, hogy egyes repülőgéptípusokon szállított és papírizsap 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 – gyümölcs termékeknél is súlyos nyomási károkat tud okozni, mely a termék korai megromlásához vezet.



14.a ábra. Csomagolt termék rázóvizsgálata szélessávú véletlen gerjesztéssel hidraulikus rázóasztalon



14.b ábra. Csomagolatlan termék rázóvizsgálata rezonancifrekvencia pásztázása elektrodinamikus rázóasztalon

A rázkódásokra a gyakorlatban gyakran szuperponálódnak nagy intenzitású egyedi, „ütés” jellegű impulzusok. Ütési, ütközési igénybevételek a logisztika során alapvetően két forrásból szoktak keletkezni. Függőleges irányú ütések többnyire a csomagolt termékek leesésekor keletkeznek, de ilyen hatást fejt ki az emelőgépekkel történő durva teherlehelyezés is. Vízszintes ütközések a járművek fékezése, gyorsítása és ívben haladása során következhetnek 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 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 ráhajtás, durva fékezés, vasúti szállításnál a kocsirendeztetést végzők gondatlansága, vagy tengerhajózásnál gyakran időjárási viszonyok is befolyásolhatják a kikötői pontos 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. Nyilvánvaló, hogy a vastagabb párnázás egyben a csomagolás külső geometriai méreteinek növekedését vonja maga után, ami szállítástechnikai szempontból holt térnek minősül, és így azonos járműtérfogatba kevesebb csomagolt termék kerülhet, és megnövekszik az egy árudarabra 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 érdekében. Az így keletkező hézagok miatt (pl. fékezés hatására) a rakat tömegközéppont-magasságától függően vagy megcsúszik, vagy megbillen. 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 éri. 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 a vízszintes ütési igénybevételeket lejtőpályás ütköztető berendezésen, illetve a függőleges ütésekét ejtőberendezésen szimuláljuk. 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 15. ábrán látható lejtőpályás ütköztető berendezést használjuk, mivel a berendezés ütköző kociján a vizsgálandó alany jól pozícionálható.

A termékek ütési érzékenységét ütőasztalon vizsgáljuk. Az ütőasztalon az ütési jelalak amplitúdója, az ütés lefutás időtartama, az ütés, illetve annak 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. hogy nagyon érzékeny).

A probléma itt is az, hogy a valós hatásokat – ha lehet – a szuperpozíció elve alapján „szét kell bontani”, de a valósághű modellezés mindenképpen sérül.

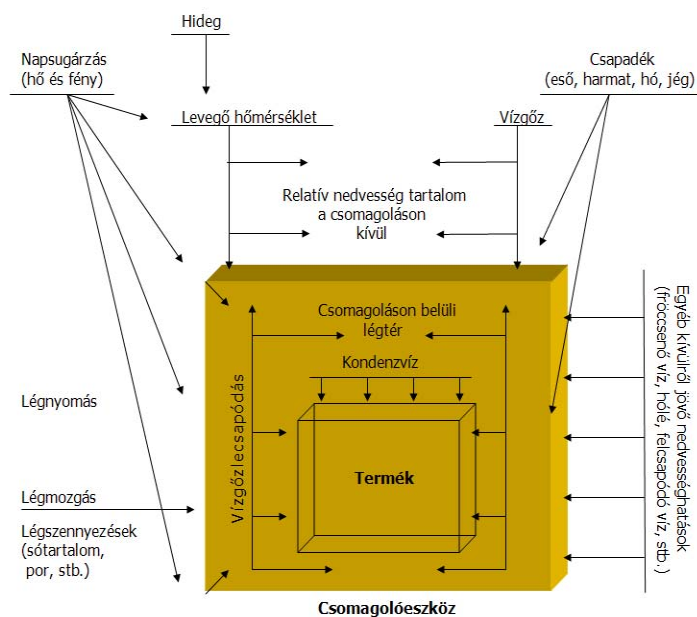


15. ábra. Vízszintes ütésvizsgálat lejtőpályás ütköztető berendezésen

2.6. A valóságos klímahatások és szimulálásuk problémája

A logisztikában - mivel az áruáramlások zöme szabadterén zajlik, és időtartama is jelentős - ezért a meteorológiai viszonyok és változásaik nagymértékben hatnak a termék-csomagolás rendszerekre. Vizsgálati tapasztalataink szerint, a leggyakoribb károkozó 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)



16. ábra A termék –csomagolási rendszert befolyásoló klímahatások

Természetesen a logisztikában a mechanikai igénybevételek a klíma igénybevétellel együtt hatnak. Így a következő kombinált károsító tényezőikkel 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 térfogat változása, és az ebből eredő túlnyomás, ill. vákuum;
- Csomagolt fémtermékeken a magas nedvességtartalom miatti korrózió;

Ezek a gyakorlatban kombináltan jelentkező hatások együttesen szintén nem szimulálhatók, illetve ha néhány hatás együttesen elő is állítható, akkor a reprodukálhatóság foka csökken.



17. ábra. Klímaállósági vizsgálat szállítási csomagoláson

2.7. A csomagolás rendszerszemléletű értelmezése, az optimális csomagolás definiálása és hatása a csomagolástervezésre

Új termék – csomagolás rendszer kialakításával kapcsolatban a következő követelményeket, ill. szempontokat kell figyelembe venni a rendszerszemléletű tervezés megkezdése előtt:

- A termék sajátosságaiból - érzékenységből eredően mérlegelendőek az alábbi paraméterek:
 - termék geometriai mérete
 - termék tömegközéppontja
 - lehetséges elhelyezési pozíciói
 - érzékenység külső hatásokkal szemben
 - a termék és a csomagolószerek összeférhetősége,
 - a termék védelme külső hatásokkal szemben, a termék minőségének és mennyiségének megőrzése,
 - a környezet védelme a termék esetleges hatásaitól,
 - a felhasználás egyszerűbbé tétele,
 - részleges felhasználáskor a csomagolás újrazárhatósága.
- Az értékesítési reláció, avagy a szállítás útvonala alapján megoldandó kérdések:
 - kibocsátó hely és a fogadóhely közötti távolság
 - kibocsátó hely és a fogadóhely között érintett éghajlati övezetek
 - a szállítási előírások betartása,
 - export esetén az érintett országok előírásainak betartása
- Szállító eszközök szempontjából fontos ismeretek:

Elkerülhetetlen azon paraméterek ismerete, amelyek befolyásolhatják a tervezendő csomagolási rendszerünk alkalmazhatóságát a logisztikai lánc során alkalmazni kívánt anyagmozgatási és szállítási eszközök szempontjából.

Ilyenek:

- konténeres szállítás
- szállítási ágazat (vasút, közút, tengeri, légi)
- szállító-, anyagmozgató eszközök teherbírása,
- megrakodási illetve lerakodási jellemzők
- szállító eszköz rakfelülete, raktérfogata,
- szállító eszköz biztonsága
- az egyszerű kezelhetőség,
- a szállítási költségek lehetőség szerinti csökkentése,
- a méretek egyeztetése a szállítóeszközök méreteivel (rakfelület, ajtónyílás stb.),

- A potenciálisan felhasználható csomagolóanyagok ismeretéből adódó kérdések:
Számos olyan paraméter van amely adott esetben korlátozhatja vagy elősegítheti egy-egy csomagolóanyag, csomagolóeszköz használatát. Ezen információk hiánya jelentősen befolyásolhatja a majdani értékesítést.

Ilyenek:

- hagyományos, homogén csomagolóanyagok
- társított csomagolóanyagok, eszközök
- az üres csomagolószerek és a kész csomagolások térfogatigénye,
- a csomagolási műveletek beillesztése a termelési folyamatba,
- a csomagolószerek jó kezelhetősége,
- a csomagológépek, kisegítő berendezések és csomagolóvonalak zavartalan gyors működésének lehetővé tétele,
- a csomagolási munkahelyek célszerű kialakítása az ergonómiai szempontok figyelembevételével.

- Szabványos egységgrakományképző eszközök köre:
Ezen eszközök ismerete adott esetben jelentősen megkönnyítheti a csomagolástervezés műszaki kivitelezését, valamint akár jelentős költség megtakarítással is járhat.

Például:

- különböző modul rendszerek szerint felépített dobozméretek illetve az azokhoz társítható különböző rakodólapok
- szabványos, nagyméretű csomagolóeszközök
- Szabványos (1200x800x144 mm) rakodólapok használata különböző szállítóeszközökhöz illeszkedő anyagokból (pl.: tengeri szállítás – műanyag, légi szállítás – papír)
- piacra hozatalra alkalmas csomagolási egységek kialakításával, a darabszám, tömeg vagy térfogat célszerű megválasztásával
- az egységgrakomány-képzés, ill. a célszerű szállítási egységek kialakítása,

- A csomagolással és szállítással kapcsolatos jogi szabályozások ismeretköre
A tervezési metódusban elengedhetetlen azon szabályozások ismerete amely korlátozhatja, tilthatja vagy szabályozott keretek közé terelheti egy-egy termék és a hozzá tartozó csomagolási rendszer használatát.

Ilyenek:

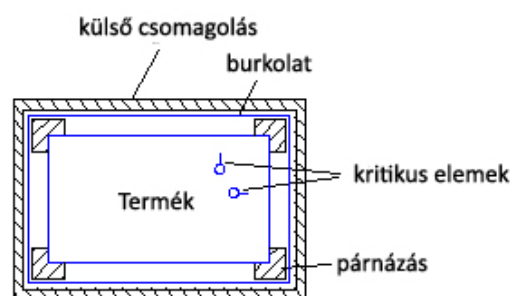
- Nemzetközi egyezmények (pl. ADR)
- Országos rendeletek (pl.: 91/2006 GKM rendelet)
- Nemzetközi szabványok (pl.: EN 13427:2005 szabványsorozat)
- EU-s direktívák (pl.: 94/62/EK)
- Nemzetközi irányelvek (pl.:FAO – ISPA)

- Élelmiszer törvények, mérésügyi rendeletek, védjegyekre vonatkozó és egyéb más törvényes előírások,
- közegészségügyi és higiéniai szabályok,
- a csomagolószerek és csomagolások tárolásával kapcsolatos tűzvédelmi előírások.

Az igénybevételek és a termék tulajdonságok alapján a logisztikai csomagolástervezés folyamata a következő:

1. A termék érzékenységeinek 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 csillapításának a 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.

A logisztikai csomagolási rendszerek struktúrája és tervezési lépései az 17.-21. ábrákon láthatók.

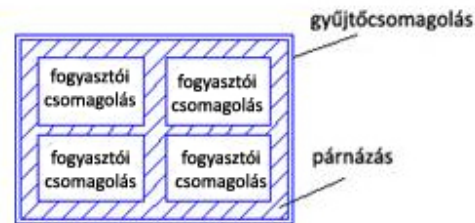


18. ábra. A termék-fogyasztói csomagolás alrendszer elemei

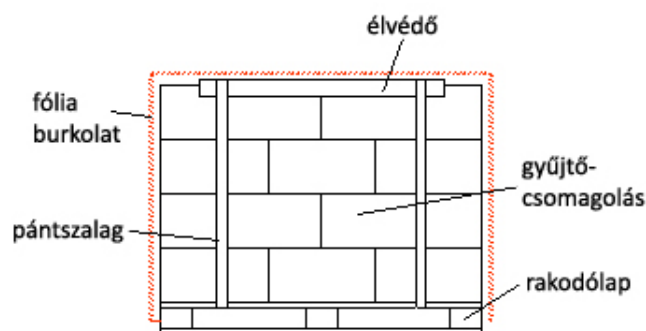
A termékben megjelölt kritikus elem a logisztikában fellépő hatások szempontjából kritikus. A különböző hatások kombinálva hatnak a becsomagolt termékekre. A párnázás a mechanikai hatásokat enyhíti, míg a fóliaburkolat a por, nedvesség, dörzsölődés, elektrosztatikus feltöltődés stb. ellen véd.

Itt kell megjegyezni, hogy gyakran a termék kritikus elemeinek konstrukciós módosítása jelentősen csökkentheti a csomagolással szembeni követelményeket és két szempontból is jelentős megtakarítást eredményez:

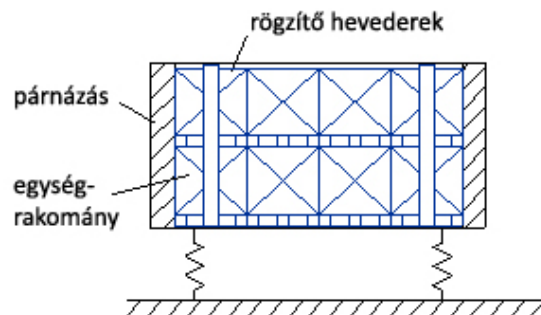
- kisebb párnázási vastagság szükséges, így csökken a csomag térfogata és ezáltal egy szállítmányban fajlagosan több termék továbbítható – csökken egy termékre jutó szállítási költség
- kisebb lesz a csomagolóanyag felhasználás – csökken az egy termékre jutó csomagolási költség



19. ábra. A fogyasztói csomagolás – gyűjtőcsomagolás alrendszer struktúrája



20. ábra. Az egység-rakomány alrendszer struktúrája



21. ábra. A jármű-rakomány alrendszer struktúrája

A fogyasztói csomagolás tervezése során kell eldönteni, hogy a termék az ábrákon látható komplex rendszerben milyen geometriai pozíciókban helyezkedhet el. Amennyiben több pozíció is szóba jöhet, a tervezés szabadságfoka nő és végül optimálisnak tekinthető szállítóeszköz kapacitás kihasználás érhető el. A rendszer tervezését iterációs eljárással két irányból kiindulva célszerű elvégezni. Ez a két irány a következő:

- a szállítóeszköz/transzkonténer karakterének geometriai méretei és teherbírása
- a termék-fogyasztói csomagolás végleges geometriai méretei és bruttó tömege

Az iterációs tervezés menete a 21. ábrán látható blokkdiagramon követhető nyomon. A kiválasztott változat végleges megtervezését a logisztikában várható hatások alapján kell végezni.

A jelenlegi csomagolástervezési gyakorlat önálló rendszerként fogja fel a terméket és annak fogyasztói csomagolását. Az általam felsorolt további három alrendszert a termék-fogyasztói csomagolás rendszer tervezésénél nem veszik figyelembe. Rendszerelméleti szempontból nyilvánvaló, hogy a „kis rendszer” optimuma alacsonyabb rendű a „nagy rendszer” optimumánál, melynél a „kis rendszer” az általam definiált rendszernek már csak alrendszere.

A „kis rendszer” input adatai:

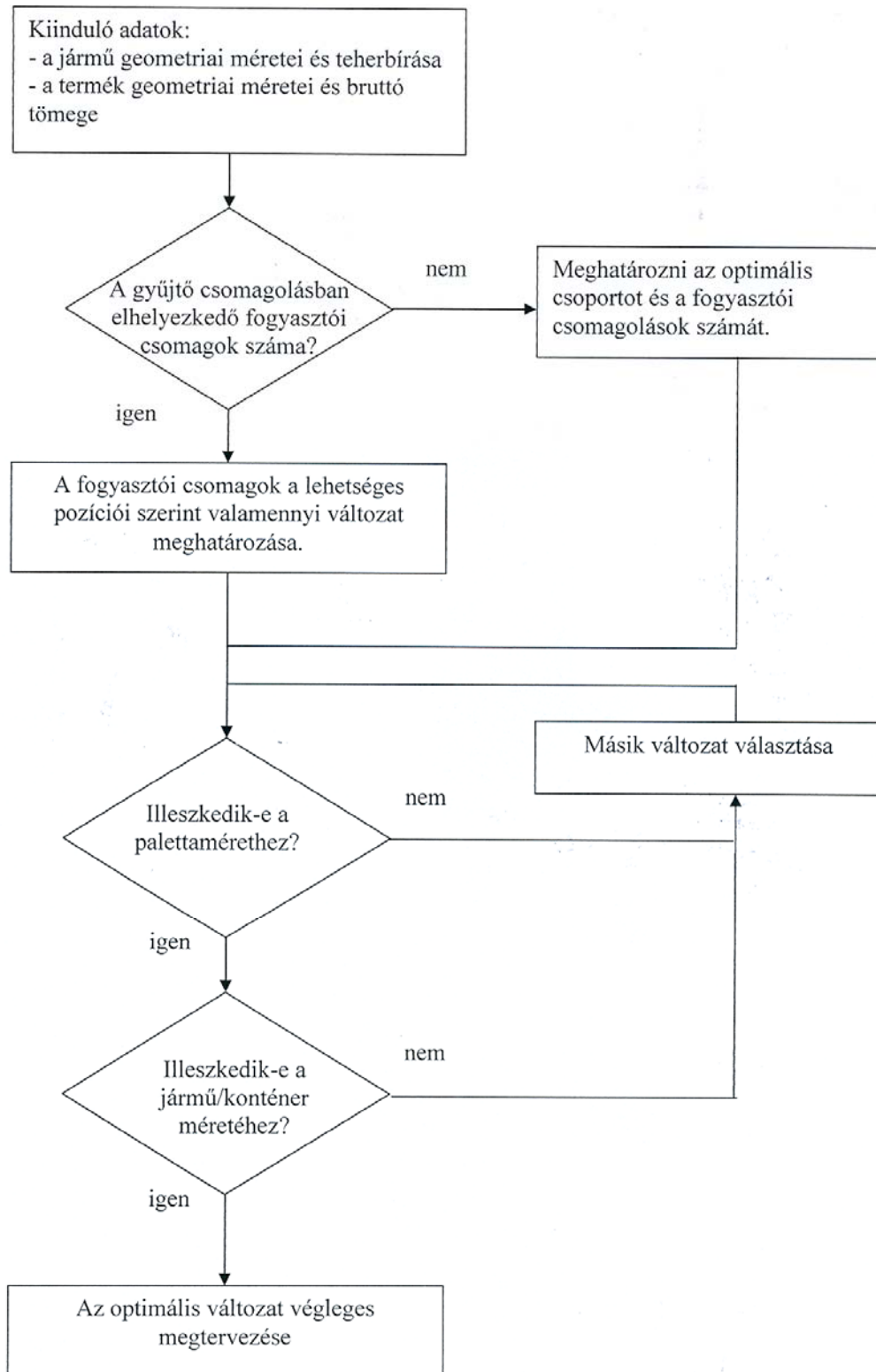
- a termék jellemzői,
- érzékenysége,
- a fogyasztói elvárások,
- marketing szempontok.

A „kis rendszer” output adatai:

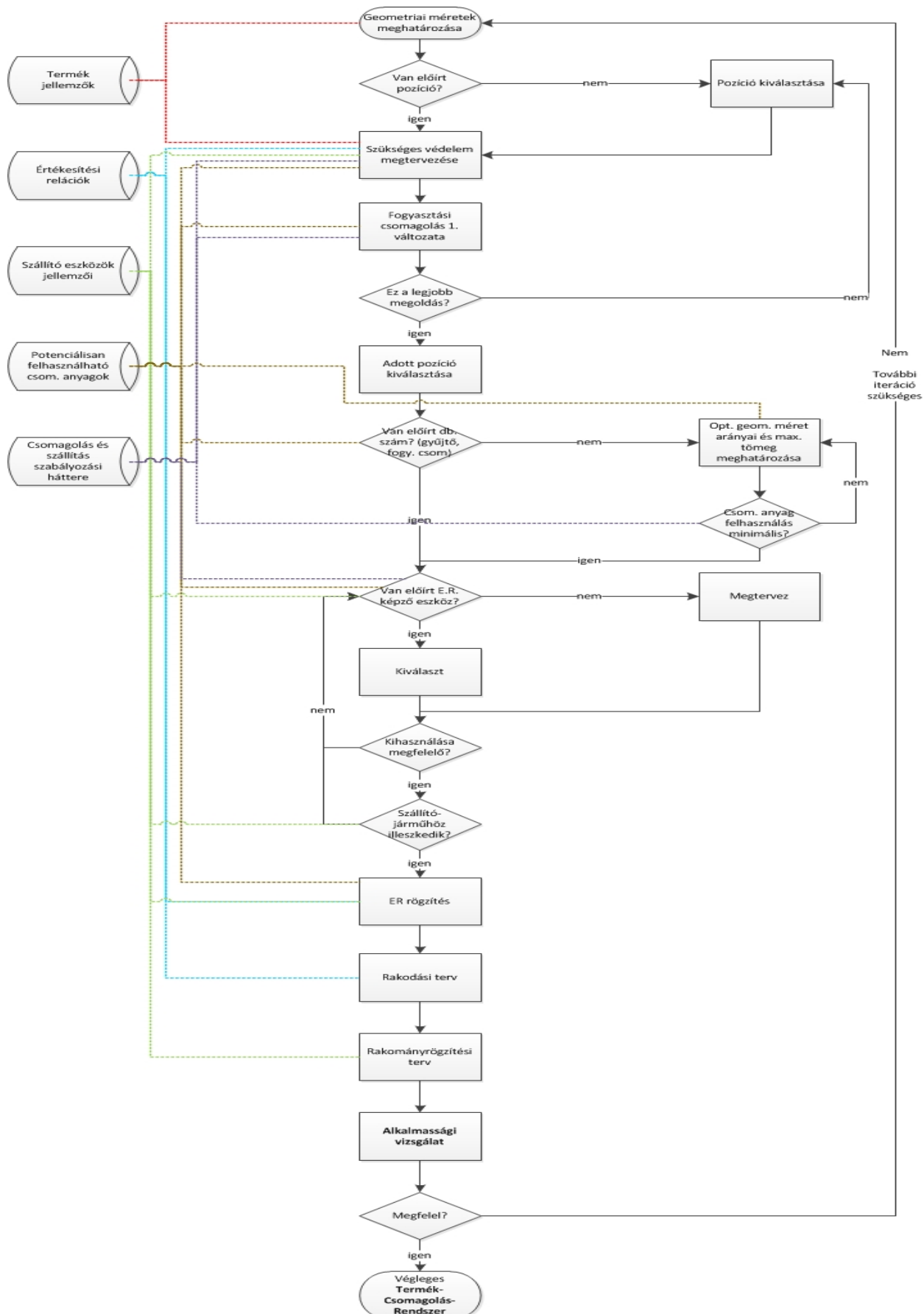
- a fogyasztói csomag geometria méretei,
- anyaga,
- tömege,
- vevőtájékoztató információk.

A „nagy rendszer” input adatai az előzőeken túlmenően:

- a gyűjtőcsomagolásban elhelyezendő fogyasztói csomagolások darabszáma,
- az alkalmazható csomagolóeszközök típusai,
- az egységgravitációképző eszköz jellemzői
- a szállítási lánc eszközeinek a jellemzői, az értékesítés térbeli eloszlása.



22. ábra A csomagolási rendszer tervezési folyamata



23. ábra Csomagolási rendszer tervezési folyamata, szabályozási elveket is figyelembe véve

A „nagy rendszer” output adatai:

- a fogyasztói csomag teljes rendszerhez illeszkedő minimalizált geometria méretei,
- a fogyasztói csomag tömege
- a gyűjtőcsomagolás teljes rendszerhez illeszkedő minimalizált geometriai méretei, a benne elhelyezkedő fogyasztó csomagok darabszámával és elhelyezkedési pozíciójával,
- a gyűjtőcsomagolás tömege,
- a gyűjtőcsomagolás elhelyezési módja az egységtrakomány-képző eszközön,
- a gyűjtőcsomagolás rögzítési módja az egységtrakományban,
- az egységtrakomány halmazolhatósága,
- az egységtrakományok elhelyezésének és rögzítésének módja a számításban jöhető jármű/konténer rakterekben

A 21 ábrán és a 22. ábrán látható iterációs tervezési eljárásokkal az optimális csomagolás meghatározható. Optimális csomagolás alatt azt értjük, hogy a teljes csomagolási rendszerben csak a minimálisan szükséges csomagolóanyagot alkalmazzuk és a szállítóeszközt térfogatra és/vagy teherbírásra maximálisan kihasználjuk.

A „nagy rendszerre” hat a logisztikában várható külső igénybevétel, melyre a pálya-jármű/anyagmozgatógép-rakomány rendszert definiáljuk. Ez a rendszer közli a rakománnyal a szállítás és anyagmozgatás során fellépő mechanikai, klimatikus, stb. hatásokat, mint input és ennek a rendszernek az outputja a mindenkori logisztikai végpontban a kifogástalan állapotban megérkező termék.