

Széchenyi István Egyetem
Audi Hungaria Járműmérnöki Kar
Logisztikai és Szállítmányozási Tanszék

Tudományos és Művészeti Diákköri Konferencia

**Alacsony csúcsgyorsulású és hosszú időtartamú
longitudinális események mérése és elemzése
kistehergépjármű rakodófelülete esetén
csomagolásvizsgálati célokra**

Készítette:

Hock Flóra

Logisztikai mérnök szak

3. évfolyam

Konzulensek:

Dr. habil. Böröcz Péter

egyetemi docens,

Csavajda Péter

egyetemi tanársegéd

2022

Tartalom

Bevezetés	2
1. Kutatás célja	3
2. Kutatás háttere	3
2.1. Csomagolás szerepe a logisztikában	3
2.2. Csomagolás funkciói, megjelenési formái	6
2.3. Jelenleg alkalmazott laboratóriumi szimulációk	7
2.4. Kutatói kérdések, hipotézis	10
2.5. Kutatás módszertana	14
3. Terepi mérések rögzítése, elemzése	14
3.1. Anyag és módszer	16
3.1.1. Mérő berendezések	16
3.1.2. A mérés körülményei	16
3.1.3. Statisztikai elemzési módszer és összetett profil	18
3.1.4. Rándulás vektor a longitudinális eseményekhez és összetett profilokhoz	18
3.2. Eredmények és értékelésük	19
3.2.1. Rándulás időtartalma	22
3.2.2. Állandó gyorsulás időtartalma	23
3.2.3. Csúcsgyorsulás eseményei	23
3.2.4. Összetett profil	23
3.2.5. Rándulás vektor	25
3.2.6. Korlátozások	25
4. Konklúzió	26
Forrás:	27

Bevezetés

A dolgozat célja az áruszállítás során létrejövő igénybevételek a jelenleginél pontosabb laboratóriumi szimulációja, a termékek csomagolásának áruvédelmi képességének alaposabb megértésére. Napjainkban szignifikánsan megnövekedett a kistehergépjárművekkel (furgonokkal) történő szállítási igény a kamionos (nehéz-tehergépjárműves) szállítással szemben. Ennek kapcsán merül fel az a probléma, hogy ebben a szállítási módban vajon mennyire eltérőek az egységrakományokat és csomagolt árukat érő különféle igénybevételek a tradicionális kamionos szállítmányozáshoz képest. A járművek haladás- és menetdinamikai képessége nagyban befolyásolja a rakodótérben tapasztalható fizikai jelenségeket. A csomagolt termékek károsodását számos körülmény okozhatja úgy, mint az összenyomódás (halmazolás), rezgés és az ütés, vagy ezek kombinációja. [1] A témakört számos tudományos munka és kutató is vizsgálta már az elmúlt évtizedekben, amelyek eredményei részben be is kerültek a világszerte alkalmazott szállítást szimuláló teszteljárásokban. [2-12] Ezeknek a méréseknek a fókuszában főként a függőleges irányú véletlenszerű mozgás (random rezgés) volt. Dolgozatomban a vízszintes irányú (hosszirányú), tartós mozgásváltozásokat vizsgálom, amit a szakirodalmak csak részben vesznek figyelembe. [13] Ezek a tartós mozgásállapotváltozások akkor jönnek létre, amikor a jármű fékező vagy gyorsuló mozgást végez. Ezeknek az eseményeknek a hatása jelentősen befolyásolhatja az egységrakományok stabilitását. [14] Számos szakirodalom foglalkozik az egységrakományok stabilitásának laboratóriumi vizsgálataival, azonban ezek nem foglalkoznak a vízszintes (hosszanti és oldalirányú) tartós mozgásállapotváltozásokkal. Ezt a jelenséget kistehergépjármű esetén egyetlen tanulmány sem mérte, elemezte. E jelenség vizsgálatára terepi mérést végeztünk, ami során öt napon keresztül, öt különböző járműbe szereltük a Lansmont SAVER™ 3D15 típusú terepi adatrögzítő berendezést. A furgonok rakterébe a padlózathoz rögzítettük a mérőberendezést, ami az utak során mérte a furgon longitudinális elmozdulását. Ezt követően az adatok kiértékelése és elemzése következett, ami segít megérteni a kritikus paramétereket, például a rándulási vagy állandó gyorsulási idő előfordulásának valószínűségét, nagyságát és gyakoriságát. A kutatási hipotézis szerint a mért jelenségek nagyban eltérhetnek az ismert nehézgépjárműveknél tapasztalttól. Ennek oka a járművek fizikai tulajdonságán alapszik, ilyen a jármű tömege, sebessége és az olyan gyorsulási és lassulási képességek, amikre a nagyobb tömegű nehézgépjárművek nem képesek.

1. Kutatás célja

A tanulmány a kis gyorsulású és hosszú időtartamú, a teherszállítás során bekövetkező longitudinális gyorsulási eseményeket vizsgálja kistehergépjárművek esetében. Az elmúlt évtizedekben megnövekedett az egyedi vagy kis raklaprakományt igénylő szállítmányok, valamint a különböző árukból álló vegyes (inhomogén) raklapos egységrakományok száma. Ezeket a rakományokat gyakran kistehergépjárművekkel szállítják rakományrögzítő eszközök alkalmazása nélkül, ezzel növelve annak a kockázatát, hogy az egységrakományok stabilitásukat veszítik, amely terméksérüléshez és termékvesztéshez vezethet. Terepi adatgyűjtés keretében öt napon keresztül, öt jármű véletlenszerű gyorsulási eseményeit figyeltük meg és rögzítettük, kifejezetten megcélózva a járművek fékezési és gyorsítási manővereit. A tanulmány célja ennek a fizikai jelenségnek a megértése és olyan új információk szerzése volt, amelyek a szállítás előtti laboratóriumi tesztek során felhasználhatók, ezzel biztosítva az optimális csomagolási megoldások alkalmazását az egész ellátási láncban. A felmért gyorsulási-lassulási események statisztikai elemzése során az volt a cél, hogy megértsük ezen események előfordulásának valószínűségét, súlyossági szintjét, és számszerűsítsük a kritikus paramétereket, mint például az események rándulási és állandó gyorsulási idejét. A fékezési manővernél az átlagos lassulási csúcs $0,26g$ volt, a hozzá tartozó rándulási és állandó gyorsulási időtartam $0,75s$, illetve $1,12s$. A jármű gyorsítási manővere alatt az átlagos csúcsgyorsulás $0,31g$ volt, $1,26s$ illetve $1,28s$ rándulási és állandó gyorsulási idővel. A terepi adatok felhasználásával kompozit profilok kidolgozására került sor, amelyeket összehasonlítottuk a jelenleg rendelkezésre álló vizsgálati eljárásokkal és más vizsgálatok korábbi eredményeivel.

2. Kutatás háttere

2.1. Csomagolás szerepe a logisztikában

A csomagolás szó hallatán legtöbbször a fóliák és hullámpapírlemez dobozok jutnak eszükbe, pedig a logisztikai folyamatokban betöltött szerepe igencsak sokrétű. A legalapvetőbb feladata a termék védelme, a lehető legkevesebb anyagi ráfordítás mellett. Védelmen felül megkönnyíti az anyagmozgatást, marketing feladatokat lát el, valamint napjainkban egyre fontosabb szempont a csomagolástervezés során, hogy a csomagolás újrahasznosítható, esetleg újrahasználatos legyen.

A csomagolás már az ellátási lánc korai szakaszában a beszerzési logisztikában is részt vesz, mivel már akkor meg kell határozni a teljes körű csomagolási rendszert. Előzetes

csomagolástechnikai kritériumoknak kell megfelelnie annak érdekében, hogy megkönnyítse az áru átvételének mechanizmusát és alkalmazkodjon az ellátási lánc infrastruktúrájához, mindezt úgy, hogy az áru minősége ne változzon.

A beszerzési logisztikában a csomagolás kialakítását befolyásoló tényezők:

- áru fajtája;
- áru halmazállapota;
- áru geometriai méretei;
- áru tömege;
- áru mennyisége;
- raktározás módja;
- árumozgató gépek típusa.

A termelési folyamatok feltételezik a csomagolástervezés tökéletes illeszkedését a gyártási folyamatokhoz. Ennek érdekében a csomagolástervezésnek már a termék tervezésekor meg kell jelennie, hogy később a rakodás, anyagmozgatás és anyagáramlás a lehető legkisebb ráfordítással elvégezhető legyen.

Csomagolás szerepe a termelési logisztikában:

- termelésen belüli mozgathoz megfelelően kialakított csomagolási rendszer legyen;
- biztosítsa a csomagolt egységek mozgathozaknak gépesíthetőségét;
- biztosítsa az egységrakomány-képzés lehetőségét;
- harmonizáljanak a csomagolóeszközökkel a csomagolási méretek;
- az áruvédelemre fordított költségek ne jelentsenek túl nagy többletköltséget.

A fent említett egységrakomány képzésnek különösen nagy szerepe van a termelési- elosztási logisztikában, hiszen sokszor a fogyasztóig terjedő teljes szállítási lánc része, miközben az áru védelmére, mozgathozására és ellenőrzésére szolgál. Az egységrakományok jellemzője, hogy minél korábbi fázisban történik az összerakása, annál költségkímélőbban tudjuk a terméket eljuttatni a termelőtől a fogyasztóig.

A csomagolásnak nem csak a beszerzésben és az elosztásban van fontos feladata, hanem a közlekedési logisztikában is. Legfontosabb szerepe az ellátási láncba kibocsátott rakományok védelme, a környezetből eredő hatások ellen. A terméket semmilyen külső vagy belső károsodás nem érheti, illetve a csomagolási rendszernek is annyira épnek kell maradnia, hogy

az értékesítést ne gátolja. Abban az esetben, ha a termék különösen érzékeny a környezeti hatásokra, akkor a csomagolási rendszer védelmi funkciójával szemben magasabb követelmények lépnek fel, ami a költségek növekedésével jár együtt. Ennek költsége csak addig növekedhet, amíg a védelmi költség aránytalanul magassá nem válik, és a termék értékesíthetetlen lesz.

A környezeti hatások lehetnek például:

- kis/ nagy léghőmérséklet;
- kis/ nagy légnyomás;
- magas relatív légnedvesség;
- nedvesedés;
- hőszugárzás;
- fauna;
- statikus terhelés;
- felborulás;
- stb;
-

A csomagolásnak közlekedési logisztikában az áruvédelmen felül fontos feladata a szállítójárművekben való kapacitás maximális kihasználás, megfelelő geometriai méretekkel a rakomány teherbírásának függvényében. Ennek megtervezésére ma már többféle szoftver létezik, amelyek optimalizálják ezeket a folyamatokat.

A csomagolást gyakran nevezik „szükséges rossznak”. Csomagolásra szinte minden esetben szükség van (ezeket a fentiekben taglaltam), azonban a cégeknek, vállalatoknak többlet költséget jelent, amit végül a fogyasztó fizet meg. Legtöbb esetben a vásárlást vagy felhasználást követően a csomagolások nagy része hulladékká alakul, ami környezetgazdálkodási és hulladékgazdálkodási okokból nem előnyös. A cégek törekednek már a csomagolástervezés szakaszában gondolni erre a problémára és ezt szem előtt tartva, a következő szempontokat veszik figyelembe:

- minél kevesebb csomagolóanyag felhasználás legyen;
- lehetőleg újra felhasználható, illetve egyszerű anyagok alkalmazása;
- környezetre, illetve az egészségre káros anyagok mellőzése;
- túlcsomagolás elkerülése;

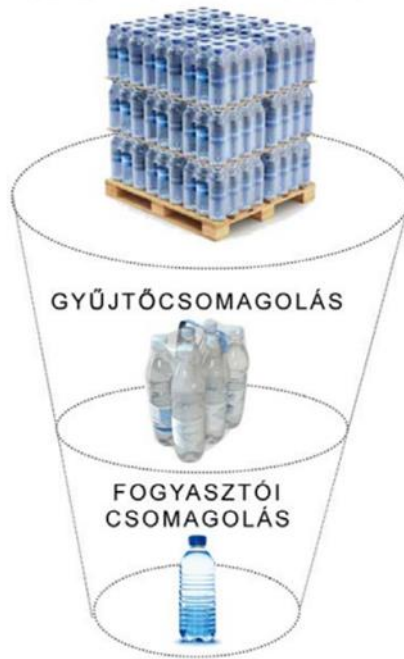
- többutas csomagolások fejlesztése.

Napjainkban egyre elterjedtebb a többutas csomagolásra való áttérés, azonban ez nem mindig költséghatékony megoldás a cégek számára. Számos olyan szempontot kell figyelembe venni, mint a megfelelő tisztítás, karbantartás, szelektálás és az anyagi ráfordítás. [21]

2.2. Csomagolás funkciói, megjelenési formái

A csomagolás funkciója és megjelenésének módja szerint három típust különböztetünk meg. A vásárlók az úgynevezett fogyasztói csomagolással kerülnek legtöbbször kapcsolatba. Ez, legtöbbször az adott termék legkisebb megvásárolható egységét jelenti. Legfontosabb feladata a termék védelme, de ezen felül információt is tartalmaz a vásárlók részére a benne csomagolt árurol. Csomagolástechnika fontos jellemzője, a csomagolás mérete és anyaga, valamint az elrendezése, ami biztosítja az információ közlést, annak érdekében, hogy az megkönnyítse a felhasználást és a tárolást. Mivel a fogyasztói csomagolás nem minden esetben alkalmas szállításra, ezért gyűjtő csomagolásokba rendezik ezeket a csomagolásokat. Elsősorban nem a fogyasztóknak szánják ezt a csomagolást, így vásárlást ösztönző tulajdonsága igencsak csekély. Általában ilyenfajta csomagolásokkal zsugorfólia, hullámpapírlemez doboz vagy rekeszek formájában találkozhatunk. A gyűjtőcsomagolás ismérve, hogy a benne található áruk fajtája és mennyisége azonos. Ez a fajta csomagolás megfelelő egységeket képez az adminisztráció megkönnyítéséhez, azonban az anyagmozgatás és raktározás gördülékenységének biztosításához szükségünk van úgynevezett szállítási csomagolásokra is. A szállítási csomagolás védelmet nyújt a szállítás során bekövetkező behatások ellen, illetve elősegíti az anyagmozgatást. A szállítási csomagolásnak több fajtája van, az egyik az úgynevezett egységrakományt képző szállítási csomagolás. Erre a raklap és a zsugorfólia használata jellemző, ami biztosítja, hogy a rakomány a fogyasztóhoz megfelelő minőségben és mennyiségben érkezzen meg.

SZÁLLÍTÁSI CSOMAGOLÁS



1. ábra: Csomagolás fajtái

Forrás: Vöröskői Kata: Stratégiai szintű csomagolási döntések modellezése az ellátási láncban

A fentebb említett úgynevezett több utas csomagolások mindhárom csomagolási csoportban megtalálhatók. A többutas csomagolás a csomagolás újra felhasználását jelenti, ami jelentősen eltér az újra hasznosítástól, hiszen ebben az esetben a csomagoló anyagot az eredeti formájában használjuk újra esetleges takarítás, karbantartás és szelektálást követően. Az ilyen csomagolások sokkal időtállóbb anyagokból készülnek, ami a cégeknek nagyobb költségráfordítást eredményez, azonban sok esetben hosszútávon ez a befektetés megéri, mivel így a hulladékkezelési költségük jelentősen csökkenhet. Vannak azonban olyan esetek, amikor a több utas csomagolások nem a legköltséghatékonyabb megoldás a termelés szempontjából, mivel azok szállítása, tárolása és adminisztrációs költsége meghaladja az egy utas csomagolás által generált költségeket. [22]

2.3. Jelenleg alkalmazott laboratóriumi szimulációk

Ahhoz, hogy vizsgálni tudjuk hogyan reagálnak az egységgrakományok a különböző mechanikai igénybevételekre, laboratóriumi szimulációk szükségesek, ahol berendezések használatával megpróbáljuk szimulálni a különböző hatásokat, és azt, hogy ezek milyen hatással vannak az egységgrakományokra. Egységgrakományok esetében ilyen vizsgálatok a halmaznyomás, a rázás, a lejtópályás ütköztetés és a billentés.

A halmazterhelés modellezhető laboratóriumi körülmények között. A 2. ábrán látható terhelő berendezéssel szimuláljuk a halmazterhelést a laboratóriumi körülmények között. Ezeket a méréseket szabványok alapján végzik, ennek értelmében a vizsgálat időtartama és a terhelés nagysága mérésenként eltérő lehet.

A raktárak és szállító járművek kapacitás kihasználása érdekében elkerülhetetlen az áruk egymásra helyezése, ezzel növelve a rakodótér magasságának kihasználását. A gyakorlatban azt jelenti, hogy az egységrakományokat több rétegben, halmazolva szállítják és raktározzák. Gyakori probléma, hogy az úgynevezett gyűjtőszállításnál, ahol sokféle különböző áru szállítására kerül sor, figyelmen kívül hagyják a termék és a csomagolás teherbírását, ami a legtöbb esetben nem ismert.

Ha a halmazterhelési vizsgálatokat el is végezték gyakori, hogy nem veszik figyelembe, hogy a legnagyobb terhelés nem minden esetben a legalsó rakomány teljes sorát éri, mivel a halmazban fölötte álló rakodólap lábai csak a legszélső és középső csomagsort terhelik. Előfordulhat rakodás közben, hogy az anyagmozgató gépek nem pontosan helyezik rá a felső felületre a rakatot vagy az elhelyezett csomagok szintje nem egyenlő, így ezekben az esetekben a halmaz stabilitása nincs biztosítva. A karbantartásra szoruló raklapok kiszűrése nagyon fontos, hiszen, ha azok lábai sérültek, a halmazban való terhelés teljes mértékben megváltozik, ami terméksérüléshez vezethet.



2. ábra: Halmazterhelési vizsgálat

A csomagok szállítása során a rezgési igénybevételek elkerülhetetlenek. Ez a jelenség főképp a pálya egyenlőtlenségeiből, a járműben lévő kiegyenlített tömegekből és a rugózási rendszeréből fakad. Ennek szimulálására úgynevezett rázóasztalt használnak a laboratóriumi vizsgálatokhoz, ezzel modellezve a jármű rakterében, a csomagokat érő igénybevételeket. A

rázóasztal működése során különböző jelalakú rezgéseket végez, aminek amplitúdója maximum 200 mm és frekvenciája 1- 300Hz között van. Ezek a vizsgálatok két jelenség vizsgálatára alkalmasak. Az egyik esetben a csomagegységek megbomlását lehet vizsgálni, a másik esetben a termék- csomagolási rendszerek kifáradási jellemzői vizsgálhatóak tartós rázkódás esetén. Rázóvizsgálatokkal megállapítható a csomagolási rendszer rezonancia pontjai.

A rázóasztal használatával felmérhetjük, hogy szükséges-e a csomagolásokba csillapító párnázó elemeket helyezni, ami a magasabb frekvenciájú igénybevételekkel szemben védik az érzékenyebb árukat.

A 3. ábrán a rázóasztalon jól látszik, hogy ez a szimuláció csak a függőleges mozgásokat és igénybevételek tudja szimulálni, ami nem elegendő ahhoz, hogy egy teljes átfogó képet kapjunk az árukat érő igénybevételekről. Ahhoz, hogy átfogó képet kapjunk szükséges a csomagolás átfordítása, hogy nem csak a vízszintes hanem függőleges irányát is vizsgáljuk. Léteznek olyan berendezések, amelyek képesek vízszintes és függőleges irányban is vizsgálni az adott csomagolást, azonban az ilyen berendezések nem minden esetben állnak rendelkezésre.



3. ábra: Rázóasztal vizsgálat

Szállítás során előfordulhat, hogy az egységalkományokat vízszintes és függőleges irányú ütési igénybevételek érik. Ez igencsak veszélyes akkor, ha a rakatokat nem tudják szorosan egymás mellé elhelyezni, és az itt keletkező hézagok miatt a teljes rakat tömegközéppont magasságától függően megcsúszhatnak vagy megbillenhetnek. A vízszintes ütési események (csúszás) laboratóriumi szimulációjára lejtőpályás ütköztető berendezéseket használnak (4. ábra), a függőleges ütési események szimulációjára különböző ejtőberendezéseket használnak (5. ábra).

Az utóbbi hátránya, hogy amennyiben a csomagolás nem szimmetrikus tömegeloszlású, az ejtés felütközésének pontos meghatározása nem minden esetben kivitelezhető.



4. ábra: Lejtőpályás ütközés vizsgálat

A lejtőpályás ütköztetőn a termék vízszintes irányú ütési érzékenységét vizsgáljuk, amikből mechanikai méretezéshez számszerű mennyiséget kapunk. Korábban ennek jellemzésére verbális kategóriákat hoztak létre (pl.: nagyon érzékeny). Ezekre a laboratóriumi szimulációkra is igaz, hogy a valósághű modellezés sérül azzal, hogy egy folyamatot szétbontunk.[23]



5. ábra: Billentéses vizsgálat

2.4. Kutatói kérdések, hipotézis

A logisztikai folyamatokban a továbbított csomagolt áruk sérülésmentes megérkezése alapfeltétel. Ennek ellenére a gyakorlatban gyakran tapasztalható, hogy bizonyos szállítási

módozatoknál, bizonyos szállítási relációkban gyakran károsodnak a szállított áruk csomagolásai és sok esetben maga a csomagolt termék is. A logisztikai folyamatokban ezek a károk különböző tovagyrúzó hatásokat okozhatnak. Vissza kell szállítani a sérült termékeket, újra kell gyártani azokat, ismételt szállítások történnek és végső soron, ha nagyon sok rendkívüli esemény történik egy logisztikai részrendszerben az akár egy adott cég piacvesztésével is járhat. Ezt felismerve a cégek nagyon gyakran túlcsomagolással reagálnak, amely jelentős többletköltséget jelent a folyamatban azáltal, hogy a különböző csomagolóanyag komponensekből az indokoltnál sokkal többet használnak fel, jelentős többletköltséget és környezetterhelést okozva. Ugyanakkor azt is meg kell jegyezni, hogy egy úgynevezett optimális csomagolás mely szükséges és elégséges, de annál nem több csomagolóanyag felhasználásával jár a termék biztonságos megvédése mellett, nem létezhet hiszen a logisztikai folyamatok és ezen belül is az egyes szállítási részrendszerek nagyon sok véletlen jelenséget tartalmaznak és adott esetben kérdéses, hogy mit tekintünk mértékadó igénybevételnek. Fontos azt is megjegyezni, hogy minél hosszabb és összetettebb egy szállítási láncrendszer annál nagyobb esélye van annak, hogy a részrendszer valamelyik pontján a szokásosnál nagyobb, esetleg extrém igénybevétel keletkezik.

A csomagolástervezés nehézségi fokát növeli az a tény is, hogy a csomagolás során felhasznált anyagok általában nem méretezhetőek úgy, mint egy viszonylag egyszerű tartószerkezet, amelynél az igénybevételi határok jól meghatározhatóak, hanem a legtöbb csomagolóanyag úgynevezett reológiai tulajdonságokkal rendelkezik, ami azt jelenti, hogy mechanikai igénybevételek hatására viszkoelasztikusan viselkedik, azaz egyszerre történik rugalmas és folyásszerű alakváltozás. A folyás jellegű alakváltozás átmehet részben maradó deformációba, más része egy bizonyos relaxációs idő után visszaalakul, de eredeti geometriai méreteik már többé nem térnek vissza. Ez leginkább a csomagolt termék védelmét szolgáló párnázó anyagokra igaz, melyek többnyire műanyag és papír alapúak, de hasonló jelenség tapasztalható különböző hullámpapírlemez, papír alapú dobozok és rekeszek esetén is. Különösen kellemetlen mechanikai tényező, hogy az erődeformáció függvény az ilyen anyagok esetében nem lineáris, és ez a méretezést rendkívül megnehezíti. Tovább súlyosbítja a problémát, hogy ezek az anyagok a logisztikai rendszerben különböző klimatikus hatásoknak vannak kitéve, ily módon a műanyagok karakterisztikája a hőmérséklet változására jelentősen változtatják rugalmassági tulajdonságaikat, míg a papír alapú csomagolóeszközök ezen felül a levegő nedvességtartalmára is érzékenyek. Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy a különböző klímahatásokra eltérő csomagolási típusokat kell választanunk, illetve kontinenseket átszelő

ellátási láncoknál egy adott termékcsomagolás rendszer kedvezőtlen esetében szinte valamennyi klímajelenséggel találkozhat. A fenti sorok azért fontosak, mert a problémakör sokrétűségét ezzel tudom érzékeltetni, és egyúttal ebből az is kiderül, hogy az optimális csomagolás gyakorlatilag egy meg nem határozható fogalom.

A csomagolással kapcsolatos szakirodalmi források igen bőségesek, és általában konkrét esetekre mutatják be, hogy egy adott termék, adott csomagolását egy konkrét szállítási folyamatban milyen hatások érik. A felmérésekből mára már bizonyos igénybevételi típusokra szabványos laboratóriumi vizsgálatok jöttek létre, amelynél egy induló mintának tekintendő termékcsomagolás rendszert a várható mechanikai és klimatikus hatásoknak tesszük ki, és megfigyeljük, hogy a csomagolás a kellő védelmi funkciót ellátja-e. A laboratóriumi vizsgálati eljárások azért szükségesek, mert analitikus számításokkal, mechanikai összefüggések felhasználásával a csomagolási rendszer méretezése a fent felsoroltak miatt csak durva közelítéssel lehetséges.

Ha a termék- csomagolás rendszerekre ható igénybevételeket csoportosítanánk, akkor a következő főbb hatásokkal kell számolunk:

- halmazterhelés statikus állapotban, zárt raktárban, oldalfalak nélküli tető alatt, vagy szabad téren;
- dinamikus halmazterhelés, járművek, konténerek rakfelületén haladás közben;
- szélessávú véletlenszerű rezgési igénybevételek a különböző közlekedési ágak különböző járműveinek rakfelületén;
- ejtési igénybevételek, illetve anyagmozgató géppel történő durva lehelyezés, akár jármű rakfelületre, akár rakodási felületre;
- változó hőmérséklet és napsugárzás;
- hőmérséklettől erősen függő mindenkor relatív légnedvesség tartalom;
- csapadék, szél, porhatások a tároló helyeken, és a szállítási folyamatok közben;
- sósköd, a tengeri szállításnál és a tengerparti vidékeken;
- káros gázok, gőzök ipari területek közelében.

A fentiekre vonatkozó szakirodalmak gyakran foglalkoznak különböző halmazterhelésekkel különösen statikus esetekben, a klímaváltozásból eredő hatásokkal, melyek a klímakamrában

jól modellezhetők, és az elmúlt időszakban egyre több publikáció jelenik meg a szélessávú, véletlenszerű rezgések vizsgálatával, elemzésével kapcsolatban. Ennek elsősorban mérés technikai okai vannak, ahogy a vizsgáló berendezések és a mérő eszközök fejlődtek, úgy használta ki a csomagolási szakma ezeknek a felhasználási lehetőségeit, és egyre többen kezdtek foglalkozni a szállítási folyamatok közbeni akár online adatfelvétellel történő konkrét mérésekkel. Ezekből ma már olyan nagy mennyiségű tapasztalat szűrhető le, hogy alapját képezte az ilyen igénybevételek laboratóriumi szimulálásának szabványosításához. Sőt a mérési eredmények szélső értékeit tekintve úgynevezett szigorúsági fokokat is bevezettek, a várható kockázatok osztályozására is.

A szakirodalom tanulmányozása közben felmerült, hogy a statikus igénybevételek, és a járművek rakfelületén előforduló széles sávú, véletlenszerű rezgések között van egy mérés technikailag nagyon nehezen megoldható átmeneti probléma.

Ez jelentős szerepet játszik az előforduló károk okozójaként, nevezetesen:

- a járművek fékezés, gyorsítás, kanyarodása;
- hajók esetén a kikötés során a partfalnak ütközése;
- szállító konténerek darukötélen történő lengése;
- a lehelyezéskor, illetve egymásra helyezéskor az összeütközések,

melyek valamennyien egy ütés jellegű, de viszonylag tartósan ható gyorsulást jelentenek.

A ma hozzáférhető rezgésmérő műszerek műszaki felépítésüknél fogva körülbelül 2 HZ alsó határfrekvenciával rendelkeznek, azonban a fent felsorolt hatások akár több másodperig is eltarthatnak. Ezen hatások mérésére új mérőműszer készült nemrégiben, amely már az LSZT csomagolás laboratóriumában (Csomagolás és Környezetállósági Vizsgálólaboratórium) is rendelkezésre áll.

A kutatásom motivációját az adta, hogy e műszer felhasználásával, ezen keveset vizsgált szakterületen végzek konkrét méréseket, melyek elemzéséből ki lehet deríteni, hogy milyen problémákat tudnak okozni a fent említett események a szállítási folyamatokban.

Előzetes vizsgálataim alapján a közúti közlekedést gondoltam végig és arra a döntésre jutottam, hogy első sorban a fékezés és gyorsítás folyamatait vizsgálom, melyek áruszállítás közben a megfelelően nem rögzített áruk elmozdulását, elcsúszását vagy felbillenését okozhatják. A mechanika oldaláról megközelítve a kérdést és elvégezve az első próbaméréseket azt tapasztaltam, hogy a szakirodalmi adatokkal ellentétben a közúti járművek fékezésekor, illetve

gyorsításakor a gyorsulás függvény nem konstans, részben az útviszonyok, részben a járművet vezető készségeinek függvényében. A gyorsulás függvényváltozó, sőt az esetek többségében függvénnyel nem is leírható, hanem csak diszkrét szakaszokkal. Emiatt a konkrét esetekben felvehető gyorsulás függvény az idő szerint legalábbis intervallumokban deriválhatóvá válik, és ekkor kapjuk meg a rántás nevezetű gyorsulási változásra vonatkozó függvényt. Aki már utazott járművön, vagy használt felvonót, a gyakorlatban is észlelheti, hogy a gyorsulás hirtelen megváltozása milyen kellemetlen következményekkel jár és ezt nem csak az utazó ember érzi, hanem az járművön elhelyezett áruk is.

2.5. Kutatás módszertana

Kutatásom egy átfogóbb, szélesebb témakört ölel át, amely a különböző szállítások során fellépő igénybevételek tulajdonságait vizsgálja, elemzi. Dolgozatomat már meglévő kutatási eredmények feldolgozásával kezdtem, amiből megállapítottam, hogy az általam vizsgált jelenséggel kevés szakirodalom foglalkozik. Ezt követően, a téma megfelelően részletes körüljárása érdekében szűkítenem kellett a kutatási problémát, így dolgozatomban csak a longitudinális elmozdulásokat vizsgálom. A kutatás során a Lansmont SAVER™ 3D15 terepi adatrögzítő berendezés által gyűjtött adatokat használtam. A kutatás céljainak elérésére induktív módszert választottam, ami a való világ megfigyelésen alapszik. Feltételeztük, hogy a szállítás során az egységrakományokat bizonyos igénybevételek érik, amik károsíthatják azt. Ennek vizsgálatára, megfigyeltünk öt napon keresztül öt különböző egységrakományt szállító kistehergépjárművet, hogy lássuk, milyen mechanikai mozgások érik a rakományt. A terepi mérést követően a mérőberendezés által felvett adatokat kielemeztem és összehasonlítottam más kutatások eredményeivel.

3. Terepi mérések rögzítése, elemzése

Az egységrakományokat széles körben alkalmazzák a teljes modern ellátási láncban. A kistehergépjárművel való szállítást világszerte alkalmazzák kis mennyiségű egységrakomány és nem homogén csomagokból álló raklapos tételek kézbesítésére. Bár a közepes és nehéz tehergépjárművekhez képest viszonylag drága, gyakran ez a leggazdaságosabb módja annak, hogy olyan helyeken biztosítsanak kézbesítési szolgáltatást, ahol nem állnak rendelkezésre olcsó, vagy más elosztási alternatívák.

A szállítás során a termékek és a csomagok károsodásának elsődleges forrásai különböző fizikai körülményeknek tudhatók be, mint például rezgés, ütés és összenyomódás a járműben. [1] Hagyományosan a csomagolómérnökök és a laborok erre a három fizikai eseményre

összpontosítanak, és az egységnyi terhelést ezekkel az erőkkel szemben értékelik. Ezeket a fizikai eseményeket több kutató mérte és elemezte régebben, eredményeiket pedig beépítették a csomagolásmérnökök által világszerte alkalmazott teszteljárásokba. [2-12] A fő fókusz az ilyen tanulmányoknak a jármű vagy csomagrendszer függőleges mozgása (rezgése) volt. A szakirodalomban általában nem veszik figyelembe a vízszintes mozgásokat, különösen azokat, amelyek kis gyorsulásúak és hosszú időtartamúak.[13] Ennek ellenére a kis gyorsulású és hosszú időtartamú vízszintes (hosszirányú és/vagy laterális) események, jelentősen befolyásolják az egységtrakományok stabilitását. [14] A terhelési stabilitás vizsgálat a közelmúltban jelentős hangsúlyt kapott az egységtrakomány meghibásodásának elkerülése és a csomagolóanyagok csökkenésének érdekében. Az ellátási láncokban a csomagolás hatékonyságának biztosításához és a sértetlen termék kézbesítéséhez a szállítás során bekövetkező fizikai események átfogó ismerete szükséges, aminek tartalmaznia kell a vízszintes erőhatásokat is.

A kis gyorsulású és a hosszú időtartamú események csomagolási rendszerekre gyakorolt hatására fókuszálva, rendelkezésre állnak olyan vizsgálati protokollok, amelyek az egységtrakomány stabilitásának vizsgálatát célozzák meg, laboratóriumi berendezések segítségével. A szakirodalmakat áttekintve csak néhány olyan kutatás született, amely dokumentálja a vízszintes (oldalirányú és hosszanti) erőket. Ezt a jelenséget azonban egyik sem mérte vagy elemezte kistehergépjármű segítségével.

Juwet és társai [14] egy raklapozott egységen vizsgálták a horizontális dinamikus hatásokat, rövid időtartamú (0,3s) és kis gyorsulású (0,5g és 0,8g) eseményekkel, hogy értékeljék az egységtrakományok reakcióját. Egy másik tanulmányban Greco és társai [15] gyorsítószánt használtak a vízszintes tesztelés szimulációja során. Dunno és Ge [13] terepi mérést végzett a vízszintes események jellemzésére egy zárt szekrényes közepes méretű tehergépjárművel.

A terhelési stabilitás gyakorlati vizsgálatának három protokollja van. Az első a Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA) [16], amely 0,05–0,8g teljesítménykövetelményt ír le a rakományrögzítő rendszerek esetében, de figyelmen kívül hagyja az esemény időtartamát. Az EUMOS 4050917 [17] nemzetközi irányelv 0,8g célgyorsulás melletti tesztelési szintet javasol, 300ms viszonylag rövid időtartammal és 50ms rándulási idővel. Meg kell jegyezni, hogy ezt az irányelvet kifejezetten vészfékezési eseményekre fejlesztették ki. Az ISO 2244:200018 [18] szabvány egységtrakomány stabilitás vizsgálatot is tartalmaz, amely 1g célgyorsulást, 100ms rándulási időtartama mellett és 300ms állandó gyorsulás időtartamot határoz meg. A rakott

tehergépjármű megállási teljesítményére vonatkozó kutatások szempontjából Garrott és társai [19] átlagosan 0,61g és 0,74g számoltak be a módosított össztömegű (MGVWR) és a könnyű tömegű tehergépjárműveknél (LLVW).

Jelen tanulmány célja, hogy mérje, és elemezze azokat a longitudinális dinamikus eseményeket, amelyeket kis gyorsulással és hosszú időtartammal jellemeznek, mivel korlátozottak a kistehergépjárművekre vagy kézbesítő furgonokra fókuszáló kutatások. Kutatási hipotézis szerint, a jelenség eltérhet az ismert nehézgépjárműveknél tapasztalttól. Ennek fő oka feltehetően a jármű tömege és sebessége, illetve olyan gyorsulási és fékezési képessége, amelyre a nagyobb, nehéz tehergépjárművek nem képesek. Tehát az olyan események jellemzése, mint a fékezés és a gyorsítás egy kézbesítő furgonban, hasznos lehet az egységrakomány stabilitásának értékeléséhez. Természetesen további kutatásokra és adatgyűjtési módszerekre van szükség a téma jobb megértéséhez.

3.1. Alkalmazott eszközök és módszerek

3.1.1. Mérő berendezések

Ebben a vizsgálatban egy Lansmont SAVER™ 3D15 terepi adatrögzítőt (Lansmont Corp., CA, USA) használtunk az adatok összegyűjtésére. A rögzítő, a jármű rakterének jobb hátsó részén volt elhelyezve, mereven a furgon padlójára rögzítve, ami hosszirányban mérte a gyorsulási eseményeket (1. ábra). A vizsgálatához használt rögzítő berendezés beállításai az alábbiak:

- Jel trigger: 0,15g
- Felvételi idő: 10 s
- Minta/másodperc: 100 Hz
- Mintanagyság: 1000
- Jel elő-trigger: 20%

3.1.2. A mérés körülményei

A szállítási szolgáltatások során bekövetkezett longitudinális gyorsulási események elemzésére öt különböző DHL szállító furgont használtunk, amelyek a 6. ábrán láthatóak. Az 1. táblázat összefoglalja, a vizsgálat során alkalmazott furgonok adatait, valamint a mérés körülményeit, a rakományokra és átlagos sebességekre vonatkozó specifikációkat. A mérések helyszínei

Magyarországon voltak (Győr-Moson-Sopron megye, Veszprém megye és Komárom-Esztergom megye).

Kézbesítés szempontjából mindegyik furgont napi útja során vizsgáltuk. A furgonok aktív szállítási ideje 5,2-6,1 óra között volt. A méréseket különböző hasznos teherrel és sebességgel végeztük 80-1100kg és 1-130km/h tartományban.



6. ábra: A (a) mérésben használt kistehergépjármű; (b) és a SAVER berendezés helyzete a raktérben

Gépjármű típusa	Gyártás éve	Gépjármű tömege (kg)	Rakomány kapacitás(kg)	Átlag sebesség (km/óra)	Megtett út (km)
Renault Master	2016	1885	1420	51,4	262
Renault Master	2021	1880	1480	37,3	135
Renault Master	2015	2185	1300	32,8	86
Renault Master	2015	1890	1490	58,5	331
Renault Master	2018	1885	1525	46,6	248

1. táblázat: A kistehergépjárművek specifikációi és a megtett út

3.1.3. Statisztikai elemzési módszer és összetett profil

A terepen végzett fékezési és gyorsítási manőverek statisztikai jellemzőihez empirikus kumulatív eloszlási függvényeket (CDF) számítottunk. A CDF megmutatja azoknak az eseményeknek a százalékát, amelyek a mért gyorsulási csúcsérték, a gyorsulás (lassulási) rándulási időtartam vagy az állandó gyorsulási (lassulási) időtartam bizonyos szintje alatt vannak. A rögzített gyorsulási csúcsokat a fékezési és gyorsítási manőverek körülményei szerint is csoportosítottuk, és egyutas ANOVA (varianciaanalízis) segítségével elemeztük a csoportok közötti különbségek összehasonlíthatóságát. Ez a Tukey-féle hatótávolság-teszt post-hoc többszörös összehasonlításával történt. A szignifikancia szintet 5%-on határoztuk meg ($p < 0,05$).

3.1.4. Rándulás vektor a longitudinális eseményekhez és összetett profilokhoz

A csomagolás dinamikájában a rándulás az a sebesség, amellyel a szállító jármű vagy eszköz gyorsulása az idő függvényében változik. A rándulás egy vektormennyiség, ami a gyorsulás első deriváltjával határozható meg, m/s^3 mértékegységgel (1. egyenlet).

$$j = \frac{da}{dt} \quad (1)$$

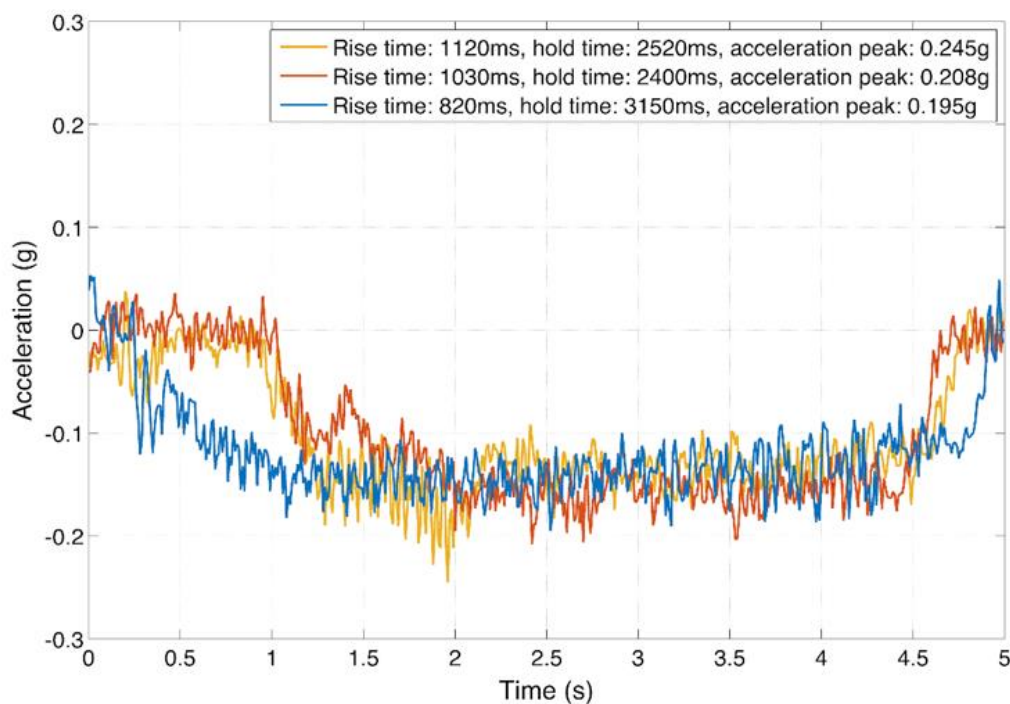
A pozitív vektor vagy gyorsulás a szállítójármű sebességének növekedését vagy pozitív változását jelenti. A lassulás a sebesség csökkenését vagy negatív változását írja le, például a jármű fékezését.

Ehhez a vizsgálathoz a rándulás vektorokat a SAVER adatrögzítő által mért esemény átlagos rándulási időtartamból számítottuk ki. A 99., 90., 20. percentilis értékekből és az átlagokból

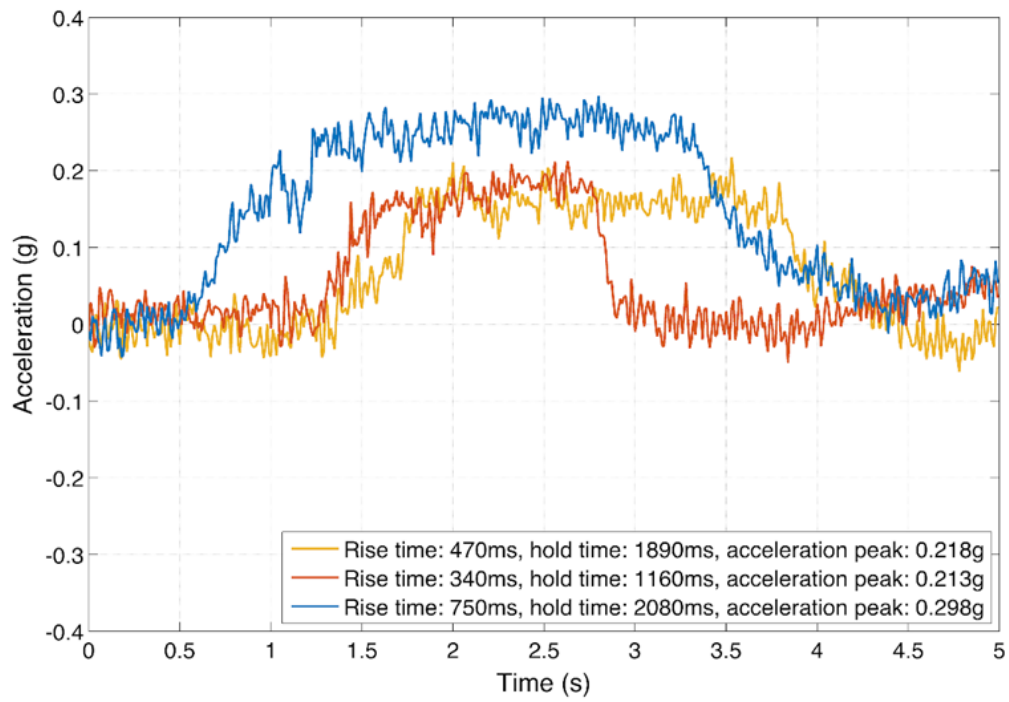
kompozit profilokat állítottunk elő a terepi adatok és a labortechnika közötti szakadék megszüntetésére, valamint a terepi adatok összehasonlítására a korábbi vizsgálatok eredményeivel és a korábban említett szabványok ajánlásával. A 20. percentilis meghatározásának az a jelentősége, hogy rövidebb időtartama miatt az esemény rándulási idejének van a legjelentősebb hatása a rándulás nagyságára.

3.2. Eredmények és értékelésük

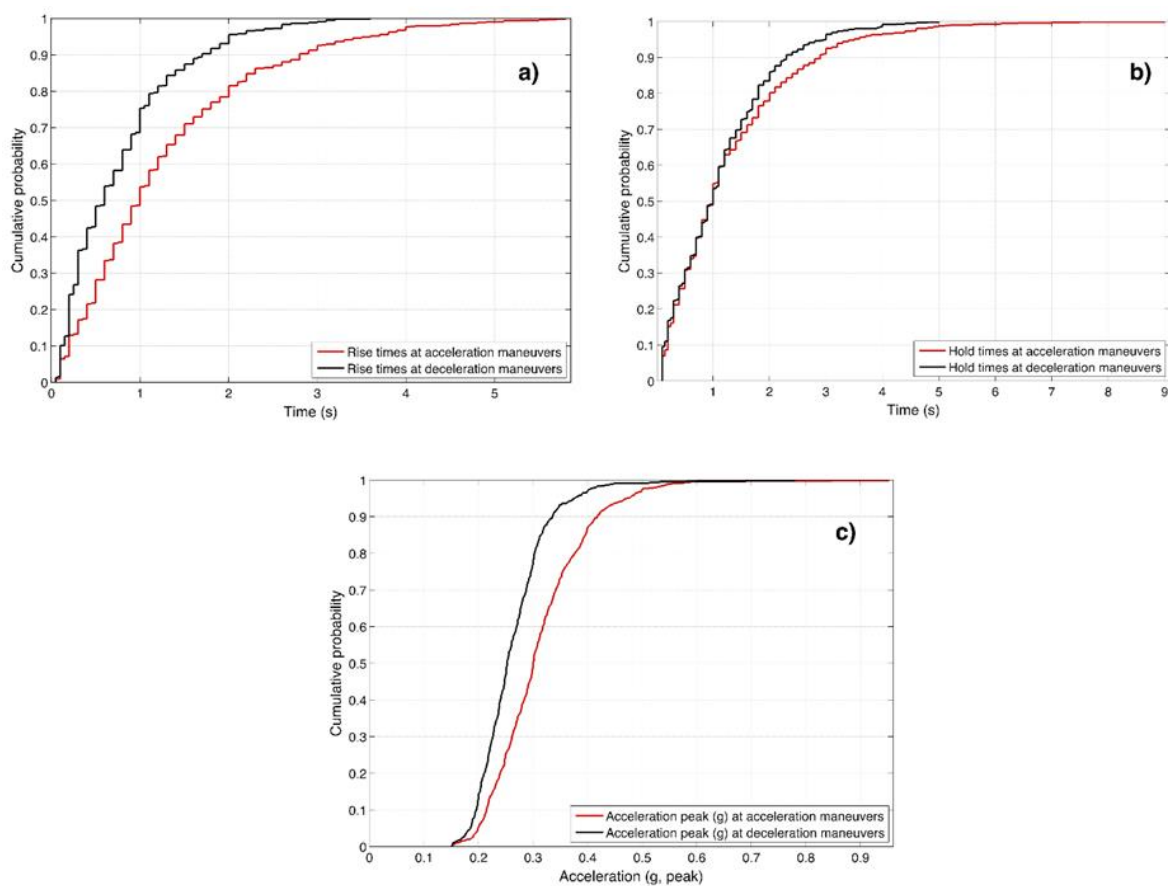
A fékezési (lassulási) és gyorsulási eseményeknek két különálló jelensége van. A rándulási idő fázisa és az állandó gyorsulási fázis [19]. A teljes mérési időszak alatt 947 gyorsítást és 692 fékezési manővert rögzítettünk. A fékezési adatok alacsonyabb száma annak tudható be, hogy a fékezés általában csak enyhe sebességváltozás eredményez. A jármű indításakor tapasztalható gyorsulás azonban mindig jelentős mozgásállapotváltozással jár együtt. A 7. és 8. ábra a nyers adatok reprezentatív eseményeit mutatja be a terepi mérésből. A 9. ábra az előfordulási valószínűséget mutatja adott gyorsulási szinten. A 2. táblázat a mért rándulások időknél, állandó gyorsulási időknél és gyorsulási csúcsoknak a statisztikai eredményeit tartalmazza.



7. ábra: A gyorsítási manőverek során rögzített reprezentatív események



8. ábra: A lassítási (fékezési) manőverek során rögzített reprezentatív események



9. ábra: CDF a (a) rándulás időtartamai, (b) az állandó gyorsulás időtartamai és a (c) csúcsgyorsulásairól

Események		Rándulás időtartama (s)	Állandó gyorsulás időtartama (s)	Csúcsgyorsulás (g)
Lassulás	Maximum	3,6	5	0,78
	99%	3,1	4	0,44
	95%	2	3	0,37
	90%	1,7	2,3	0,33
	80%	1,2	1,8	0,3
	Átlagos	0,75	1,12	0,26
	20%	0,2	0,25	0,21
	SD	0,47	0,9	0,07
Gyorsulás	Maximum	5,8	9	0,95
	99%	4,9	5,2	0,55
	95%	3,5	3,5	0,47
	90%	2,8	2,9	0,42
	80%	2	2	0,38
	Átlagos	1,26	1,28	0,31
	20%	0,4	0,3	0,25
	SD	0,87	1,18	0,09

2. táblázat: A mért manőverek statisztikai jellemzői

A bemutatott adatok alapján megállapítható, hogy a rögzített gyorsulási értékek 100%-a 1g gyorsulás alatt van, 80%-a pedig 0,37g alatt, illetve 0,30g a jármű gyorsítási és lassítási manővereinél. A legmagasabb gyorsulási szintek a járműgyorsítási manőverek során voltak megfigyelhetőek. Az eredmények azt mutatták, hogy a nagyobb átlagos csúcsgyorsulások a gyorsítási manőver során következtek be, ebben az esetben a mért érték átlagosan 0,31g, míg a járműfékezési manőver átlagos csúcsgyorsulása 0,26g volt. A gyorsítási manőverek átlagos rándulási ideje 1,26s, ami 68%-kal nagyobb, mint a lassítási manőverek esetében, amelyek 0,75s átlagos rándulási időt jelentettek. Az állandó gyorsulás átlagos időtartama 1,12s fékezési manővereknél és 1,28s járműgyorsítási manővereknél. Meg kell azonban jegyezni, hogy a maximális állandó gyorsulási idők meglehetősen hosszúak voltak, 5,8s, illetve 9,0s értékkel a fékezésnél és a gyorsításnál. A varianciaanalízis alapján statisztikailag szignifikáns különbségek voltak megfigyelhetők a jármű gyorsítási és lassítási manővereiből származó rándulás időtartam adatok és csúcsgyorsulások tekintetében ($p < 0,05$). Nem volt statisztikailag szignifikáns különbség az állandó gyorsulás időtartama (állandó gyorsulás) tekintetében a jármű gyorsítása és fékezése között ($p < 0,05$). Itt fontos hangsúlyozni, hogy az átlagos csúcsgyorsulás és az állandó gyorsulás időtartama nagyobb és hosszabb volt a jármű gyorsítási manőverénél, mint a fékezésnél. Így a kiszámítható mozgási energia nagyobb volt a gyorsítási manővereknél.

3.2.1. Rándulás időtartalma

Garrott és társai [19] tanulmányukban arról számoltak be, hogy a kontrollált lassulási esemény rándulási ideje a nyerges vontató esetén 0,27s és 0,56s között volt. Dunno és Ge [13] egy zárt szekrényes közepes méretű tehergépjármű használatával értékelték, és 0,28s és 1,94s közötti lassulási időkről számoltak be ellenőrizetlen (véletlenszerű) terepi mérésekből, 1,01s átlagos rándulási idővel. Ez a tanulmány azt vizsgálta, hogy a fékezési, lassulási események átlagos rándulási időtartalma 0,75s, a gyorsítási manővereknél pedig 1,26s. Ebből a felmérésből származó gyorsulási és fékezési manőverek rándulási idejét átlagolva az eredmények összhangban vannak a Dunno és Ge által közölt, zárt szekrényes közepes méretű tehergépjármű átlagos rándulás idejével. Az eredmények azt mutatják, hogy a fékezési és gyorsulási minták nagyon hasonlóak más egységrakomány szállítására irányuló terepi mérési kutatásokhoz. Összehasonlítva azonban eredményeinket a jelenlegi tesztprotokollokkal, amelyekben a rándulási időtartam EUMOS esetén 50ms, az ISO esetében pedig 100ms, a helyszínen mért átlagos rándulási idő 10-20-szor több.

3.2.2. Állandó gyorsulás időtartalma

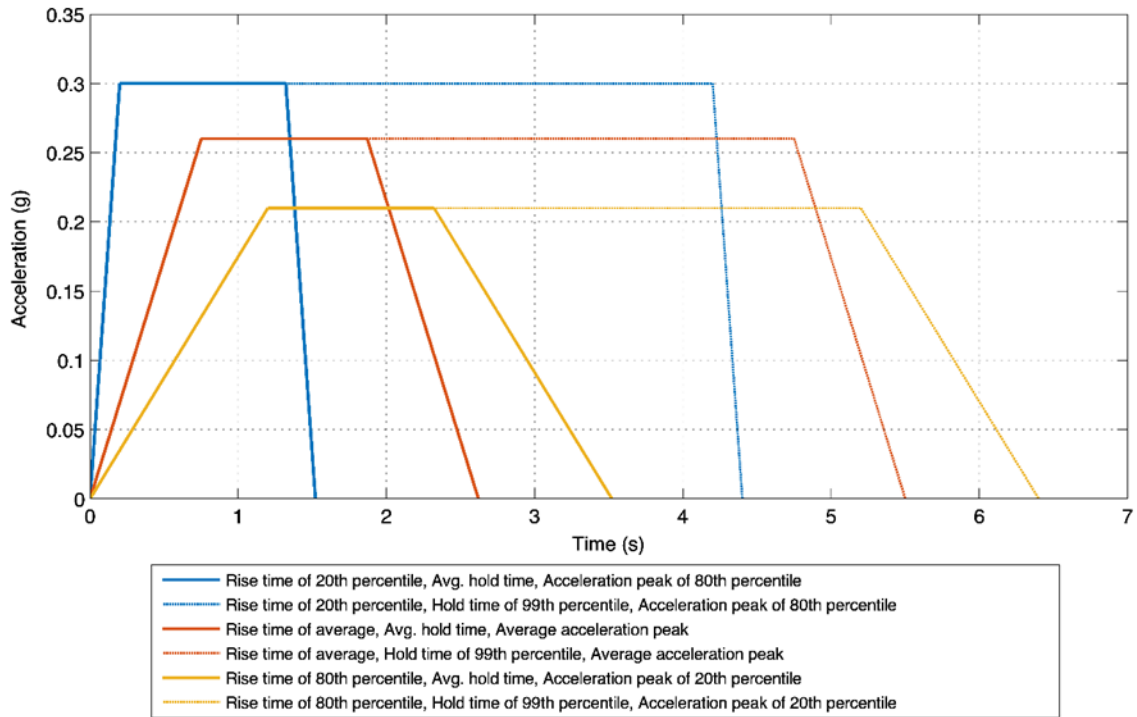
A fékezési és gyorsítási manővernél az esemény állandó gyorsulás szakaszából (állandó gyorsulás időtartama) számított átlagos időtartam 1,12s, illetve 1,28s volt. Az eredmények azt mutatják, hogy az állandó gyorsulások időtartamai rövidebbek voltak, mint a Dunno és Ge kutatásban [13] közölt zárt szekrényes közepes méretű tehergépjárművel, ahol 4,2s és 11,3s között változott. Természetesen ez feltehetően a jelen vizsgálat során alkalmazott könnyebb járműveknek köszönhető, amelyek viszonylag rövid idő és távolság megtételét teszik lehetővé a kívánt sebesség eléréséhez, illetve a megálláshoz. Itt azonban meg kell jegyezni, hogy a kézbesítő kisteherautó kompaktsága több időt biztosít a sofőrnek olyan lassítási vagy gyorsítási manőverek elvégzésére, amelyek nagyobb szállítójárművekkel nem érhetők el. A vizsgálat átlagos állandó gyorsulás időtartama több mint háromszor hosszabb, mint az EUMOS és ISO tesztprotokollokban (0,3 s).

3.2.3. Csúcsgyorsulás eseményei

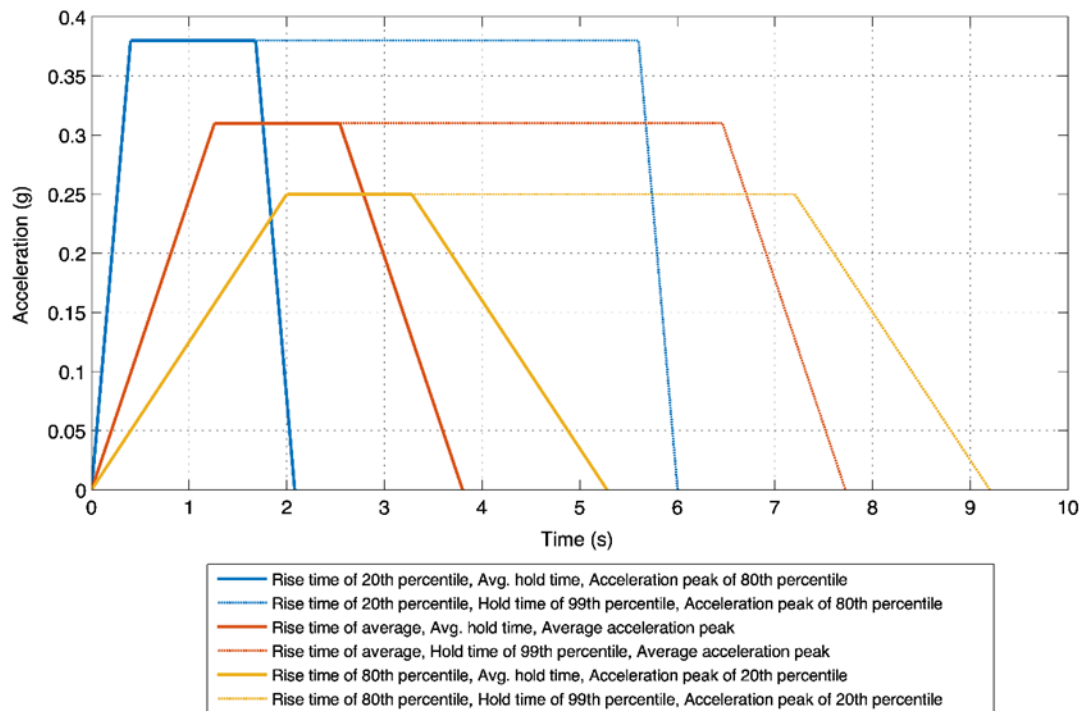
Ebben a vizsgálatban a maximális csúcsgyorsulás 0,78g volt fékezéskor és 0,95g gyorsulási manővereknél. A fékezési és gyorsítási manőverek átlagértéke 0,26g, illetve 0,31g volt. Az átlagolt értékek ismét egybeesnek Dunno és Ge korábbi kutatásaival, akik 0,29g-os átlagos csúcsgyorsulásról számoltak be a zárt szekrényes közepes méretű tehergépjármű esetében [13], valamint Nolot és társai eredményével, akik 0,27g és 0,33g közötti átlagos csúcsgyorsulásról számoltak be. [20] Ez az átlag alacsonyabb, mint az EUMOS vagy ISO vizsgálati protokollok, amelyek 0,8g és 1,0g célküszöböt használnak. Azonban, ha csak a vizsgálatból származó maximális csúcsgyorsulási értékeket vesszük figyelembe, az adatok korrelálnak az ajánlott vizsgálati feltételekkel. Ezek a maximális események azonban a felmérés során előforduló extrém helyzetekből is adódhattak, mivel a 99%-os előfordulásnál megfigyelt csúcsgyorsulások 0,44g fékezési és 0,55g gyorsulási manővereknél jelentek meg.

3.2.4. Összetett profil

Laboratóriumi célokra kompozit görbéket dolgoztunk ki (10. és 11. ábra). A görbék alakja követi az ajánlott teszthez alkalmazott trapézprofil alakzatot a kiszámított százalékos tartományok felhasználásával. Ezek az összetett görbék lefedik az események adott előfordulási szintje feletti eseményeket, a 80. és 20. gyorsulási csúcshoz tartozó rándulási időtartam, 20. és 80. átlagának felhasználásával, valamint az állandó gyorsulás időtartama átlagával. Az egyes ábráknál a szaggatott vonalak jelzik a terepi mérésből megfigyelt 99. percentilis tartási időtartamát, hogy kizárják a tartási idő kiugró értékeit. Ezek a kompozit profilok hasznosak lehetnek az egységtrakományok stabilitását vizsgáló laboratóriumi teszt szimulációkban.



10. ábra: Összetett lassulási profil a fékezéshez



11. ábra: Összetett gyorsulási profil a gyorsítási manőverhez

3.2.5. Rándulás vektor

A 3. táblázat tartalmazza a 20. és a 80. percentilishez tartozó rándulási időtartam értékének vízszintes rándulását és a terepi mérés átlagértékét. A fékezési és gyorsítási manőver átlagos rándulása 3,40, illetve 2,43 m/s³ volt. Ezek az értékek azt mutatják, hogy a fékezési manővereknek nagyobb rántó nyomatékuk van, mint a gyorsításoknál. A csúcsgyorsulás 80%-nál és a rándulási idő 20%-nál a rándulás 14,71 m/s³ volt. A vizsgálatból a legrövidebb rándulás időtartamával (50ms) a maximális lassulási csúccsal (0,78g) számítható maximális elméleti rándulás 152,98 m/s³ volt, azonban a terepi mérés során ilyen esemény nem történt. Az rándulás időtartama a maximális lassulási csúcstól 0,3s (300ms) volt, ami 25,5m/s³ rándulást eredményezett. Azonban az EUMOS-ban leírt tesztelési protokollok által javasolt rándulás mértéke a számítások szerint 156,8m/s³, ami lényegesen nagyobb, mint a jelen tanulmány során gyűjtött adatok mutatnak.

	20. Percentilis	80. Percentilis	Átlag
Fékezési esemény (m/s ³)	14,71	1,72	3,4
Gyorsulási esemény (m/s ³)	9,32	1,23	2,43

3. táblázat: A lassítási és gyorsulási manőverek rándulásai (a rándulás időtartamának percentilis értéke)

3.2.6. Korlátozások

1. Ez a tanulmány 0,15g küszöbértékkel beállított jeltrigger módszert használt az állandó gyorsulás időtartalmú események összegyűjtésére. Vezetés során az utakon sokszor előfordul enyhe fékezés és gyorsítás. Elsődleges cél az utazási sebesség finomhangolása volt, ezért ezek az adatpontok nem szerepeltek a vizsgálat eredményei között.
2. A kisméretű járművekben elosztott egységgrakományok gyakran csak egyedi egységgrakományok vagy egyedi csomagokból álló egységgrakományok. Tehát a szállítójármű felmérés eredményei önmagukban nem nyújtanak elegendő információt ahhoz, hogy a csomagolástechnikai mérnökök minden egységgrakomány stabilitással kapcsolatos kérdést eldöntsenek.
3. Ezen túlmenően figyelembe kell vennünk, hogy a terepi mérések időszaka alatt nem rögzítettek olyan szélsőséges eseményeket, mint például a vészfékezés, amely jelentősebb hatást gyakorolt volna az egységgrakományokra. Ezenkívül az eseményjellemzők az itt közölttől eltérő impulzusformát és küszöbértékeket mutathatnak.

4. Konklúzió

A tanulmány eredményei alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- A terepi mérés során a longitudinális kis gyorsulású, hosszú időtartamú eseményeket figyeltük meg, és statisztikailag elemeztük. A vizsgálathoz a fékezési és gyorsítási manővereket külön-külön vizsgáltuk. A fékezési és gyorsítási manőverek átlagos gyorsulása 0,26g, illetve 0,31g volt. A gyorsulási csúcserőterek 0,78g fékezésnél és 0,95g gyorsulási manővernél voltak.
- Az átlagos rándulás időtartama 0,75s volt a fékezési manővernél és 1,26s a gyorsító manővernél, amelyek időtartama lényegesen hosszabb volt, mint az ajánlott vizsgálati protokollokban közölt idők. Ezek azonban nagyon hasonlítottak azokhoz a vizsgálatokhoz, amelyeket zárt szekrényes közepes méretű tehergépjárművek és nyerges szerelvényeken végeztek.
- Az átlagos állandó gyorsulási időtartam (az állandósult gyorsulási fázis időtartama) 1,12s volt a fékezésnél és 1,28s a gyorsításnál. Ezek az időtartamok lényegesen hosszabbak voltak, mint a jelenlegi vizsgálati protokollok.
- A varianciaanalízis eredményei alapján statisztikailag szignifikáns különbséget találtam a mért értékek között a gyorsítási és lassítási manőverek rándulás időtartamánál és csúcsgyorsulásánál ($p < 0,05$). Nem volt statisztikailag szignifikáns különbség az állandó gyorsulás időtartama (stacionárius gyorsulás) tekintetében a gyorsítási és fékezési manőverek között ($p < 0,05$).
- Összehasonlítva ennek a vizsgálatnak a terepi rándulási értékeit az egységterhelési stabilitás vizsgálatához javasolt vizsgálati protokollokkal, a terepi rándulások szignifikánsan alacsonyabbak voltak.
- A terepi adatok alapján az átlagolt, a 80. és a 99. percentilis értékek felhasználásával összetett vizsgálati profilokat alakítottunk ki, amelyek vizsgálati módszerre vonatkozó ajánlásokat adtak a laboratóriumi értékeléshez.

Forrás:

1. Yam, KL.: *Encyclopedia of Packaging Technology*, John Wiley & Sons Inc.: Hoboken, New Jersey, USA, 2009
2. Singh J, Singh SP, Joneson E. Measurement and analysis of US truck vibration for leaf spring and air ride suspensions, and development of tests to simulate these conditions. *Packag Technol Sci.* 2006;19(6): 309-323. <https://doi.org/10.1002/pts.732>
3. Garcia-Romeu-Martinez M-A, Singh SP, Cloquell-Ballester V-A. Measurement and analysis of vibration levels for truck transport in Spain as a function of payload, suspension and speed. *Packag Technol Sci.* 2008;21(8):439-451. <https://doi.org/10.1002/pts.798>
4. Lu F, Ishikawa Y, Shiina T, Satake T. Analysis of shock and vibration in truck transport in Japan. *Packag Technol Sci.* 2008;21(8):479-489. <https://doi.org/10.1002/pts.841>
5. Böröcz P, Singh SP. Measurement and analysis of vibration levels in rail transport in Central Europe. *Packag Technol Sci.* 2017;30(8):361-371. <https://doi.org/10.1002/pts.2225>
6. Singh SP, Joneson E, Singh J, Grewal G. Dynamic analysis of less- than-truckload shipments and test method to simulate this environment. *Packag Technol Sci.* 2008;21(8):453-466. <https://doi.org/10.1002/pts.787>
7. Rouillard V. Generating road vibration test schedules from pavement profiles for packaging optimization. *Packag Technol Sci.* 2008;21(8): 501-514. <https://doi.org/10.1002/pts.840>
8. Rouillard V, Lamb M. On the effects of sampling parameters when surveying distribution vibrations. *Packag Technol Sci.* 2008;21(8): 467-477. <https://doi.org/10.1002/pts.827>

9. Chonhenchob V, Singh SP, Singh JJ, Stallings J, Grewal G. Measurement and analysis of vehicle vibration for delivering packages in small-sized and medium-sized trucks and automobiles: small and medium truck and automobile vibration levels. *Packag Technol Sci.* 2012;25(1):31-38. <https://doi.org/10.1002/pts.955>

10. Böröcz P, Singh SP. Measurement and analysis of delivery van vibration levels to simulate package testing for parcel delivery in Hungary. *Packag Technol Sci.* 2018;31(5):342-352. <https://doi.org/10.1002/pts.2327>

11. Ge C, Pan L. Vibration damage rate curves for quantifying abrasion of printed packaging in accelerated random vibration test. *Packag Technol Sci.* 2018;31(2):71-81. <https://doi.org/10.1002/pts.2354>

12. Böröcz P. Vibration and acceleration levels of multimodal container shipping physical environment. *Packag Technol Sci.* 2019;32(6):269-277. <https://doi.org/10.1002/pts.2434>

13. Dunno K, Ge C. Characterization of low-acceleration, long-duration horizontal events using a spring suspension straight delivery box truck. *Packag Technol Sci.* 2021;34(5):273-282. <https://doi.org/10.1002/pts.2557>

14. Juwet M, Esprit E, Vanden Berghe G. On horizontal dynamic effects on palletized goods during road transport: measurement of horizontal dynamic effects. *Packag Technol Sci.* 2018;31(5):310-330. <https://doi.org/10.1002/pts.2322>

15. Greco A, Renzini A, Vaccari M, De Camargo FV. Testing methods and equipment for palletized products. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* 2019; 659:1-11, 012087. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/659/1/012087>

16. FMCSA. Cargo securement rules. <https://www.fmcsa.dot.gov/regulations/cargo-securement/cargo-securement-rules>

17. EUMOS 40509. Test method for load unit rigidity. Published online 2012.

18. ISO 2244. : 2000. Packaging—complete, filled transport packages and unit loads—horizontal impact tests.
19. Garrott WR, Heitz M, Bean B. Experimental measurement of the stopping performance of a tractor-semitrailer from multiple speeds. Published 2012. [https://www.semanticscholar.org/paper/ Experimental-measurement-of-the-stopping-of-a-from-Garrott- Heitz/a4e5db40188d8f35b5f5c1de3ff38e8e29bb0403](https://www.semanticscholar.org/paper/Experimental-measurement-of-the-stopping-of-a-from-Garrott-Heitz/a4e5db40188d8f35b5f5c1de3ff38e8e29bb0403)
20. Nolot J, Copinet A, Huart V, et al. Check analysis of horizontal, stresses in road transport. In: 27th IAPRI Symposium on Packaging. 27th IAPRI Symposium on Packaging; 2015.
21. Böröcz Péter és Mojzes Ákos: A csomagolás jelentősége a logisztikában (2017)
22. Vörököi Kata: Stratégiai szintű csomagolási döntések modellezése az ellátási láncban (2020)
23. Pánczél Zoltán: A csomagolás rendszerszemléletű értelmezése a logisztikában, és – reológiai – tervezési módszer kidolgozása a viszkoelasztikus csomagolóanyagokra (2009)