

## SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

## BHG

Laczkó Endre  
Bernhardt Richárd  
Eisler Péter  
Dr. Gosztony Géza  
Honti Ottó  
Klug Miklós  
Tölgyesi László

## ORION

Jakubik Béla  
Baracs Sándor  
Csernoch János  
Froemel Károly  
Sass Károly  
Szabó Károly

## TERTA

Bánsághi Pál  
Baján Tibor  
Benedek Elek  
Egerszegi Béla  
Hutler Mihály

## Híradástechnikai gyártmányok mechanikai tartósságának vizsgálati módszerei és követelményei

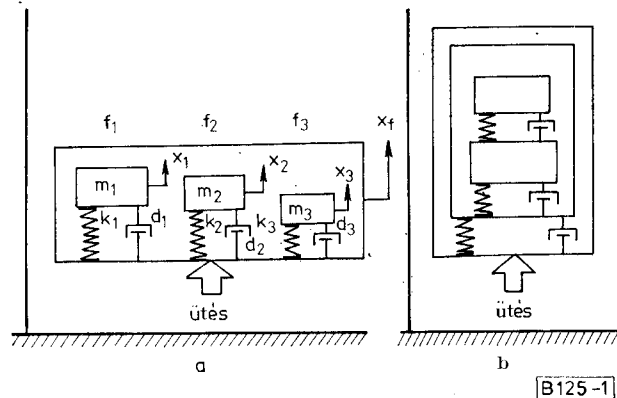
SOMFAI FERENC  
BHG

A vizsgálatok indokoltsága és az igénybevételek fajtái

A gyártmányok, különösen az összetett gyártmányok megbízhatóságát befolyásoló tényezők között jelentős helyet foglalnak el a környezet mechanikai hatótényezői. Gyártmányainkat, a helyezköthöten telepített és hordozható gyártmányokat egyaránt, a szállítás, raktározás, kezelés, üzemeltetés, javítás és karbantartás során olyan mechanikai erőhatások érhetik, melyek a gyártmányt károsítják, csökkentik megbízhatóságát és élettartamát, esetleg teljesen tönkre is teszik.

A cikk mondanivalója elsősorban telefontechnikai gyártmányokra vonatkozik, a tapasztalatokat főleg ilyen gyártmányok vizsgálata során szereztük. De hasonló felépítésük miatt a híradástechnikai gyártmányok zömére, sőt más iparágak gyártmányainak jelentős részére is vonatkozathatók a tapasztalatok kellő megfontolással.

Az 1. ábra egyszabadságfokú és többszabadságfokú rezgő mechanikai rendszereket tartalmazó keretszerkezeteket mutat be, amelyekkel gyártmányaink is modellezhetők.  $f_i$  az egyes tömeg-rugó rendszerek rezonanciafrekvenciája,  $m_i$  a tömege,  $k_i$  a rugóállandója,  $d_i$  a csillapítási tényezője,  $x_i$  pedig a rögzített koordináta-rendszerre vonatkoztatott kilengetése. A gyártmány elemeinek maximális gyorsulása a legtöbb esetben meghatározza ezen elemek csatlakozásainak maximális mechanikai igénybevételeit és rugalmas részeinek maximális relatív kilengetését, ezért közvetlenül kapcsolatban áll a károsító okokkal. Gerjesszük az 1/a ábrán mutatott szerkezetet adott hullám alakú gyorsulás-impulzussal. Ennek hatására az egyes mechanikai rendszerek rezgésbe jönnek a tömegtől, rugóállandótól, csillapítási tényezőtől és rezonanciafrekvenciától függően más-más gyorsulás-idő lefolyással. A károsodás mértéke szoros összefüggéssel azzal, hogy az egyes rendszerek gerjesztő-impulzus átvitele milyen.



1. ábra. Rezgő mechanikai rendszereket tartalmazó gyártmányok

Összetett gyártmányaink belső szerkezeti elemei az egyszabadságfokú rendszereknél általában bonyolultabb mechanikai rendszereket képeznek, pl. sorba kapcsolt, csillapított többszabadságfokú rendszereket az 1/b ábra szerint. Ilyenkor az ütés következtében egy külső rendszerben keletkezett rezgések károsodást idézhetnek elő egy belső rendszerben a csatlakozásihatások miatt.

A mechanikai igénybevételek károsító hatása elleni védekezés sok formája már eddig is kialakult és jó eredménnyel alkalmazzuk is azokat, de főleg csak az üzemeltetés és rövidebb távolságú szállítás vonatkozásában. A híradástechnikai ipar exportterületei, különösen távlati exportterületei miatt azonban nagyobb távolságú (5–15 ezer km-es) szállítással is számolnunk kell. Ez nagyságrendekkel megnöveli a gyártmányra ható erőciklusok számát és intenzitását, tehát lényegesen emeli a mechanikai igénybevételek szigorúságát. Hozzájárul még ehhez, hogy a célállomástól a telepítési helyre történő továbbszállítás sokszor primitív szállítóeszközökön és rossz utakon történik, ami egyúttal a gyártmányra ható

erők állandó változását is jelenti. Itt elsősorban a fejlődő országok felvevőpiacára gondolunk.

Egyértelműen megállapíthatjuk tehát, hogy a különböző mechanikai igénybevételekkel szembeni ellenállóképességet a gyártmány fontos műszaki tulajdonságának kell tekintenünk, ami olykor még pl. a nedvességállóságnál is fontosabb lehet. Ezt — sajnos — a vállalatok gyakorlati példái bizonyítják. Jelentős meghibásodások, s vele komoly anyagi és erkölcsi károk keletkeztek már még rövidebb távú szállításkor is, a károsodás mértéke néha olyan volt, hogy a gyártmányt megjavítani is alig lehetett.

A tényleges szállítások és mechanikai tartóssági vizsgálatok során a következő főbb hibaféleségekkel találkoztunk:

(a) A rezgő mechanikai rendszerek leggyakoribb károsodási formája az anyagfáradási hiba. Az igénybevétel hatására a szerkezeti anyagok folyamatosan fáradnak, huzamosabb idő után megrepednek, eltörnek. Leggyakoribb az alkatrészlábak, kivezetők letörése, nehezebb szerelvények felerősítő füleinek repedése, ponthegesztett részek szétválása, kábelszakadás stb.

(b) Szintén fontos károsodási forma és akkumulatív jellegű a szorított, dugaszolt és csavarkötések lazulása. Irodalmi adatok és saját vizsgálati tapasztalataink alapján tudjuk, hogy jelentős csavarlazulások és oldónyomaték-csökkenések lépnek fel pl. a csavarrögzítő lakkok alkalmazásának elhagyásával.

(c) Plasztikus alakváltozások, maradandó deformációk és kényszertörések fordulnak elő az adott szerkezeti elem mechanikai szilárdságát meghaladó dinamikus erőhatások hirtelen fellépésekor. Pl. egy  $400 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  maximális gyorsulású, 1 kg tömegre ható dinamikus csúcserő 400 N. E nagy dinamikus erők ellenére a híradástechnikai ipar konstrukciós megoldásait dicséri, hogy ez a típusú károsodás rendkívül ritkán fordul elő.

(d) Egymáshoz közel szerelt alkatrészek a rezonanciafrekvencián való rázás alatt egymáshoz verődhetnek, jelfogók, kapcsolók érintkezői szabálytalanul záródhatnak vagy megszakadhatnak, elektroncsöveknél mikrofónia léphet fel, a szomszédos elemek egymás működését zavarhatják, a rezgőkörök elhangolódhatnak stb.

Hogy a mechanikai igénybevételek károsító hatása ellen a gyártmányt meg tudjuk védeni, mindezekelött a ténylegesen várható mechanikai igénybevételekkel, azok szigorúságával kell tisztába jönnünk. Amíg csak egyszerű gyártmányokról van szó, a mechanikai igénybevételek ismeretében azok hatását többé-kevésbé számítani tudjuk. De mihelyt a gyártmány összetettebbé válik — s a híradástechnikai gyártmányok zöme ilyen —, előzetes számítással még a várható igénybevételek legpontosabb ismeretében is csak durván becsülhető a gyártmány mechanikai ellenállóképessége. Ilyenkor az egyedüli járható út a tényleges igénybevételek hatásának mesterséges leutánzása vizsgáloberendezések segítségével és a gyártmányok ezekkel elvégzett mechanikai tartóssági vizsgálata.

A gyártmányokra ható mechanikai igénybevételi formák nagyon változatosak, s természetes körülmények mellett csak a legkritikább esetben hatnak „tisztán”, önmagukban. Általában különböző igénybevételi formák kombinációjaként jelentkeznek. De a legtöbb esetben egyik vagy másik igénybevételi formának meghatározó szerepe van a többi igénybevételi formával szemben. Mesterséges vizsgálati eljárásainkban ezért rendszerint „tisztán” igénybevételeknek vetjük alá a mintákat. A mesterséges vizsgálatok célja az, hogy a vizsgálati mintákon meghatározzuk a „tisztán” mechanikai igénybevételek károsító hatását, a minta mechanikai szilárdságát és ellenállóképességét, s ezzel olyan konstrukciós változtatásokra hívjuk fel a figyelmet, amelyekkel az ilyen károsodások a tényleges körülmények mellett elkerülhetők. A mechanikai tartóssági vizsgálatok során — illeszkedve a természetes körülményekhez — az igénybevételek két fő típusát alkalmazzuk általánosan: a lökészerű- és rázási igénybevételt.

A lökészerű igénybevétel gyorsulás-impulzustól származó tranziens mozgás, mely a megfigyelési idő elhanyagolhatóan kis része alatt folyik le, nem állandó folyamat. A gerjesztést a gyors lefolyás mellett még a nagy amplitúdó jellemzi. Ilyen igénybevétel pl. a gyártmány leejtése, felborítása és egyéb véletlenszerű lökések, melyek főleg a szállítás során, különösen rakodásoknál fordulnak elő. E véletlenszerű hatások vizsgálatára kidolgoztak ugyan szabványos vizsgálati módszereket (pl. a leejtési, billentési és felborítási vizsgálat), de ezeknél a kialakult erőhatások még korántsem kielégítően meghatározottak, e téren még sok a tennivaló. E véletlenszerű hatások vizsgálata helyett a híradástechnika vizsgálati gyakorlata inkább a normális szállítási körülményeket utánozó és jól reprodukálható ejtegetés és ütési igénybevételt alkalmazza. Az ejtegetés a lökésnél kisebb energiaközléssel járó periodikus gyorsulás-gerjesztés, amelyet vizsgálat céljára sokszor megismétlünk. Ilyen igénybevételt visel el a gyártmány pl. vasúton történő szállítás során, ahol a sínpálya diszkontinuitása miatt nagytávolságú szállításkor milliós nagyságrendű gyorsulás-impulzus is érheti a gyártmányt.

A rázás kényszermozgás, kényszerrezgés előidézőse egy mechanikai rendszerben, tehát olyan rezgés előidézőse, amely egy vagy több periodikus erő folyamatos hatására jön létre. A kényszerrezgés frekvenciája megegyezik a kényszererő frekvenciájával. Ilyen igénybevétel éri a gyártmányt, ha pl. benne, vagy közvetlen környezetében nem megfelelően rezgésszigetelt, kiegyensúlyozatlan forgórészű gépek működnek (pl. hűtőventillátor, sínpálya mellett telepített berendezés stb.).

#### A szállítóeszközök okozta igénybevételek

Gyártmányaink vasúti, közúti, légi és vízi szállítóeszközön jutnak el rendeltetési helyükre. Szállítás során a gyártmányra ható károsító erők kialakulását, az igénybevételek szigorúsági fokát a szállítóeszköz és annak úttípusa határozza meg elsősorban.

A 2. ábra a különböző szállítási módok rázási hatásdiagramját ábrázolja, más szóval a szállítóeszközök rakfelületén fellépő rázási igénybevétel jellemzőinek értéktartományát.

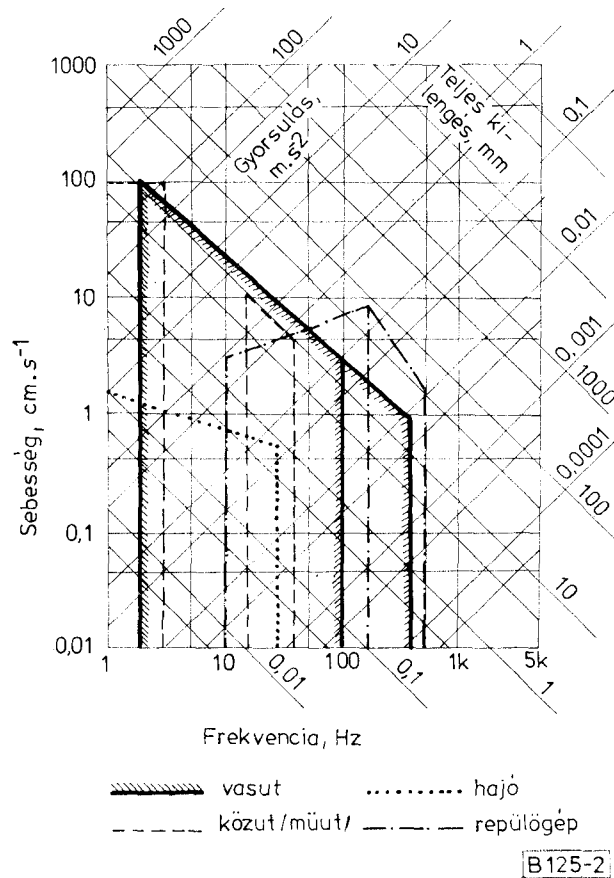
A vasúti szállítás adott kocsitípus, sín pályamínőség és állandó haladási sebesség esetén lényegében állandó (esetleg kissé változó) frekvenciájú és amplitúdójú rázási igénybevétel, amelyre a sínmegszakítások miatt periodikus ejtegetési impulzusok szuperponálódnak. A rázás frekvenciatartománya 2–400 Hz, de ritkán nagyobb 100 Hz-nél, és károsítás szempontjából a 60 Hz feletti frekvenciák általában elhanyagolhatók. A teljes kilengés 0,007–200 mm, a gyorsulási amplitúdó pedig 10–20  $m \cdot s^{-2}$ . A haladás közbeni ejtegetési csúcsgyorsulás max. 50  $m \cdot s^{-2}$ . Induláskor, fékezéskor, tolatáskor előforduló rángatásuál, a kocsirendezezkor gyakori ütközéseknél 200  $m \cdot s^{-2}$ , illetve olykor még 500  $m \cdot s^{-2}$  értékű maximális gyorsulások is előfordulnak 10–60 ms-os impulzus-időtartammal.

A rázási frekvenciatartomány folyami és tengeri szállítás esetén lényegesen szűkebb, 1–30 Hz, a teljes kilengés 0,05–5,0 mm, a gyorsulási amplitúdó 0,1–1,0  $m \cdot s^{-2}$ . Adott hajótípus, haladási sebesség és nyugodt (a nyugodtság a hajó típusától függően erősen viszonylagos) víz esetén a rázási jellemzők értéke állandó. Hullámozó víz mellett a rázás kisebb hajóknál gyakran rendezetlenné válik. Lökésszerű igénybevétel csak rakodásnál és nem megfelelően rögzített vagy rögzítetlen szállítmány esetén erős hullámozáskor érheti a gyártmányt.

Közúti szállítás esetén az igénybevétel szigorúsága a jármű típusától, haladási sebességétől és az útfelület minőségétől függ. Csupán a műúton való szállítás fogható fel rendezett rezgésként, „tisztá” rázási igénybevételként. Rosszminőségű utakon mindig rendezetlen rázás lép fel, s az uralkodó igénybevételi forma lökésszerű tranzien mozgás. Műúton a fő rázási frekvenciasáv 15–40 Hz, 0,3–2,0 mm teljes kilengéssel és 10  $m \cdot s^{-2}$  körüli gyorsulási amplitúdóval. Az út hullámossága miatt és főleg vontatott járműtípusoknál van még egy 1–3 Hz-es mellék frekvenciasáv is 100–300 mm teljes kilengéssel és 6–20  $m \cdot s^{-2}$  gyorsulási amplitúdóval. A vonórúd rángatása és a rossz utak kátyúi miatt a lökésszerű igénybevétel 5–80 ms-os, max. 100  $m \cdot s^{-2}$  gyorsulású ütésekkel jellemezhető.

A szállítórepülőgépek zöménél a rázási frekvenciasáv 10–150 Hz, a teljes kilengés 0,15–0,75 mm, a gyorsulási amplitúdó 2–80  $m \cdot s^{-2}$ . A legkorszerűbb géptípusoknál a frekvenciasáv 500 Hz-ig, sőt még tovább is terjedhet. Normális leszállásnál 50–100  $m \cdot s^{-2}$  maximális gyorsulású lökésszerű igénybevétellel kell számolni. A repülőgépekbe beépített híradástechnikai gyártmányokkal szemben támasztott rázásállósági követelmények a szállítási követelményeknél lényegesen szigorúbbak, ezekkel nem foglalkozunk.

A rázási igénybevétel repülőgépeknél nagyon bonyolult, „tisztá” formájában úgyszólván nem is fordul elő. A nagy sebességeknél fellépő légörvénylés és az exhausztor által gerjesztett rezgések miatt a rázás rendezetlenné válik, vagyis ha  $t_0$  időpilla-

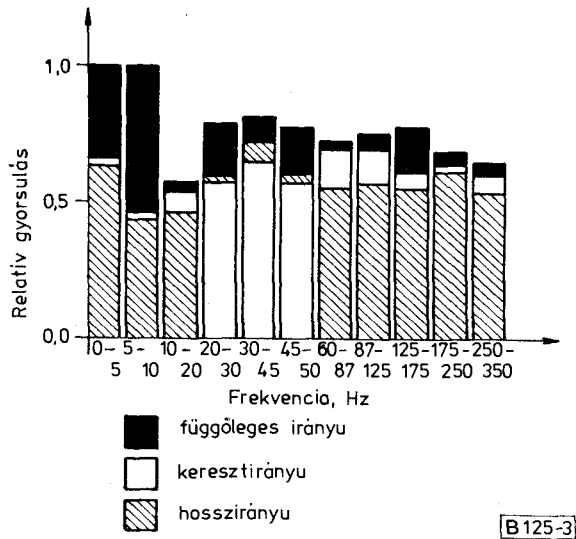


2. ábra. Szállítási módok rázási hatásdiagramja

natban ismerjük a rezgés  $\varphi_0$  fázisát,  $A_0$  amplitúdóját és  $f_0$  frekvenciáját, akkor egy tetszőleges  $t > t_0$  időpillanatban  $\varphi_t$ ,  $A_t$  és  $f_t$  valószínű értéke adható csak meg. A rendezetlen rázás vizsgálatára vannak már kialakult vizsgálati módszerek, de hazai tapasztalatunk és vizsgálati lehetőségünk még nincs. E vizsgálati módszer nagy előnye, hogy rázás alatt a minta minden mechanikai rezonanciája egyidőben gerjed, így a nonlinearitásokra hibátlan átvitelt nyerünk.

Mint a 2. ábrából látható, a vasúti szállítás rázási hatásdiagramja lényegében takarja a többi szállítási mód hatásterületét is, csupán a légi szállítás nagyobb frekvenciájú és gyorsulású részei esnek abból ki. Tehát, ha csak különleges igény nem merül fel, a gyártmány méretezését és vizsgálatát általában elég csak a vasúti szállítás esetére elvégezni.

A 3. ábra egy tipikus tehervagon rázási hisztogramját mutatja, a rakfelületen függőleges-, kereszt- és hosszirányban mért viszonylagos gyorsulási amplitúdó értékeket a frekvencia függvényében, meghatározott állandó haladási sebesség mellett. A teljes frekvencia tartományban a függőleges irányú gyorsulás fordul elő a legnagyobb amplitúdóval, majd 20 Hz alatt és 60 Hz felett a keresztirányú gyorsulás, 20–60 Hz között pedig a hosszirányú gyorsulás. A hisztogramból látható, hogy 10 Hz felett a különböző irányokban mért gyorsulások között gyakorlatilag nincs lényeges különbség, nincs egyértelműen ki-

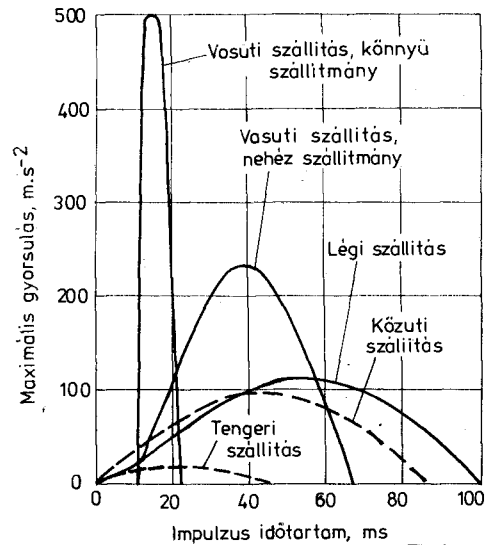


3. ábra Tehervagon rázási hisztogramja

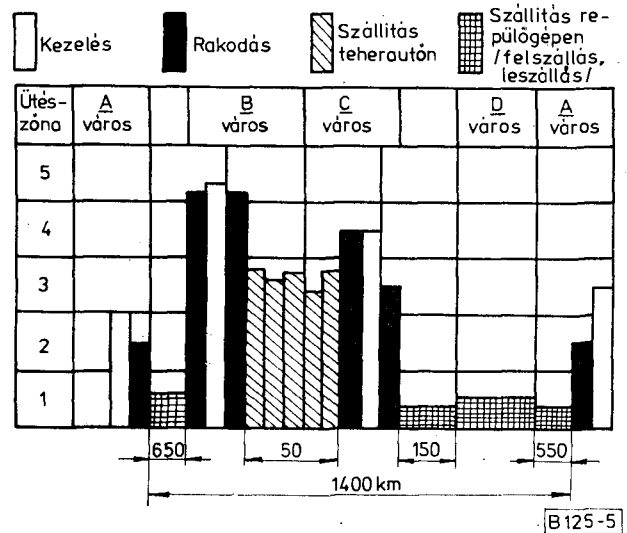
tüntetett rázási irány. Ez indokolja a rázásállósági vizsgálati szabványoknak azt az előírását, hogy a minta rázását mindegyik főirányban el kell végezni (általában három, egymásra kölcsönösen merőleges irányban), függetlenül annak szállítási helyzetétől. Gyakori hibája a termékszabványok vizsgálati utasításának, hogy a rázást csak a minta üzemi vagy szállítási helyzetében írja elő.

A 4. ábra a vasúti, közúti és légi szállítás maximális ütéstartományát, a gyártmányra ható lökészerű mechanikai igénybevételeket adja meg. A görbék a különböző szállítási módokban előforduló gyorsulási impulzus időtartamok és a hozzájuk tartozó maximális gyorsulások burkológörbéi (a katasztrófa esetek nélkül). Pl. vasúti szállításhoz nehéz szállítmány esetén 40 ms körüli impulzus időtartammal fordul elő a legnagyobb gyorsulás, az ennél rövidebb és hosszabb időtartamú impulzusok már jelentősen kisebb gyorsulás értékekkel fordulnak elő. Szigorúság szempontjából magasan a vasúti szállítás vezet. A légi és közúti szállítás közel azonos igénybevételt jelent, a tengeri szállítás lökészerű igénybevétele pedig gyakorlatilag elhanyagolható.

Az 5. ábra gyorsulásmérő műszerek próbaszállítás alatti lökészerű igénybevételeit mutatja be, a műszerek maguk regisztrálták a rájuk ható üteket. Az 1–5 jelű ütésezona az ütekek viszonylagos szigorúságát jelzi, a vízszintes irány pedig a szállítási útvonalat ábrázolja. A repülés a fel- és leszállással együtt mindvégig az 1. ütésezónában helyezkedik el, enyhébb igénybevételt jelentett. A teherautón való szállítás ennél már lényegesen szigorúbb volt, a 3. ütésezónában helyezkedik el, az igénybevételi szigorúság ingadozása kicsi. Ez arra utal, hogy a közút minősége végig egyenletes volt. A kezelési és ki-be rakodási ütegek voltak a legszigorúbbak, de egyben nagyon változó erősségűek is, a 2–5. ütésezónákat fogják át. Ezek az ütegek a kezelési és rakodási módjától, eszközeitől, gépesítési fokától, de főleg az embertől függenek, a gyártmány tervezésekor ezeket a legnehezebb előre figyelembe venni. Az ábra szemléltetően mutat-



4. ábra Szállítási módok maximális ütéstartománya



5. ábra Lökészerű igénybevételek próbaszállítás alatt

ja, hogy A városban induláskor és visszaérkezéskor is mennyivel gondosabban bántak a szállítmánnyal, mint B vagy C városban. A kezelési és rakodási szigorú igénybevételei indokolják elsősorban az ejtegetésállósági és ütésállósági vizsgálatokon túlmenően olyan vizsgálati módszerek alkalmazását is, mint a leejtés, billentés és felborítás, mégha utóbbiak reprodukálhatósága sok kívánnivalót hagy is maga után. Hogy a próbaszállítás minél objektívebb eredményeket adjon, a szállításban közreműködők nem tudtak arról, hogy próbaszállítást végeznek.

#### Egyéb mechanikai igénybevételek

Nem hanyagolható el a szeizmikus hullámok okozta, olykor szigorú mechanikai rezgések elleni védelem sem. Sok kárt okoztak már ezek főleg olyan helyhez-kötött telepített berendezéseknél, amelyekre nor-

mális körülmények mellett mechanikai igénybevételek nem, vagy csak alig hatottak. Ezért a konstrukció mechanikai szilárdságát nem is tekintették lényegesnek.

Súlyos károkat okoztak már a léghangok által keltett mechanikai rezgések is. Megfigyelték, hogy forgalmas repülőtereken és azok környékén telepített híradástechnikai berendezések és készülékek esetében látszólag indokolatlanul megnőtt a mechanikai eredetű meghibásodások száma. Egyes anyagok öregedési, kifáradási folyamata meggyorsult, repedések és törések léptek fel, áramköri szakadások stb. keletkeztek. E hatás azonban főleg a repülőgépekbe beépített híradástechnikai gyártmányok szempontjából kritikus.

Az előzőekben összefoglalt mechanikai igénybevételi formák gyártmányaink károsítása tekintetében jelenleg a legfontosabbak. De bizonyára tartogat még számunkra a jövő kellemetlen meglepetéseket e területen.

### Szabványos vizsgálati módszerek

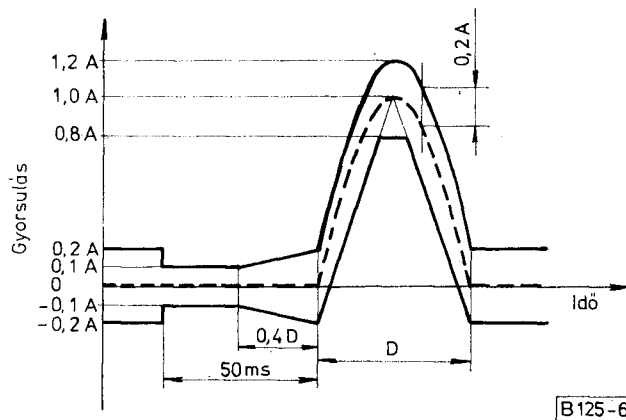
A szabványos, jól reprodukálható mechanikai tartóssági vizsgálati módszereket az MSZ 8888 szabvány sorozat megfelelő lapjai tartalmazzák. Ezek az IEC 68-2 publikáció sorozatban megjelent vizsgálati módszereken alapulnak, tartalmilag azokkal megegyeznek. A vizsgálati módszerek KGST ajánlásokban is megjelentek már, azok alapja szintén az IEC 68-2. Külkereskedelmi szempontból ez az azonosság nagyon előnyös, az MSZ szerint megvizsgált gyártmány egyúttal az IEC és KGST szabványok szerint is átessett a vizsgálaton, s adott esetben bármelyik szabványra hivatkozhatunk. A hazai és nemzetközi vizsgálati módszerek szabványosítási munkájában a BHG tevékenyen részt vesz, a megfelelő szakmai bizottságokban kulcsszerepet tölt be. Tekintsük át ezek után a vizsgálati módszereket. A konstruktőrnek ezeket feltétlenül ismernie kell ahhoz, hogy a mechanikai igénybevételeknek ellenálló gyártmányt tudjon tervezni. E szabványok sok olyan követelményt tartalmaznak, amelyet a termékszabvány készítőjének kell előírnia. Minden vizsgálati szabvány tartalmaz egy utasítás részt a termékszabvány készítője számára arra vonatkozóan, hogy a termékszabvány (műszaki feltételek, a gyártó és felhasználó közötti egyéb megállapodások) vizsgálati utasítás részében a vizsgálatra vonatkozóan milyen adatokat kell megadni.

### Ejtegetésállósági vizsgálat

E vizsgálattal megállapítható, hogy a gyártmányok (alkatrészek, szerelvények, készülékek és berendezések) képesek-e elviselni olyan gyakori, sűrűn ismétlődő, nagyszámú, de viszonylag kis maximális értékű gyorsulás impulzusokat, amelyek nagy valószínűséggel érik azokat szállítási során és működés közben. A szabvány szállítási és üzemi ejtegetésállósági vizsgálatot különböztet meg. Utóbbi elsősorban a gépjárművekbe, vasúti kocsikba beépített, vagy hajón üzemelő gyártmányok esetében fontos.

Az ejtegetőgép félszínusz alakú gyorsulás impulzust kelt a 6. ábra és 1. táblázat szerint, szigorúan előírt tűréshatárokkal. A névleges gyorsulás maximális értéke  $A$ , 49–1470  $m \cdot s^{-2}$ -ig (5–150 g-ig) terjed hét fokozatban, a névleges gyorsulás impulzus  $D$  időtartama pedig 1,5–50 ms közötti. Az impulzusok gyakorisága percenként 40–120 között szabályozható. Lényeges, hogy az egymás után következő impulzusok között legalább annyi szünet legyen, ami alatt a mintában gerjesztett rezgések a következő impulzust megelőző tűréshatárok közé lecsillapodnak. A percenként 60 impulzus gyakoriság az esetek zömében teljesíti ezt a követelményt. A gyorsulás impulzusok időtartama alatti sebességváltozás (a gyorsulás impulzus integrálja  $0,4D$ -vel az impulzus megjelenése előtti időponttól  $0,1D$ -vel a lefutása utáni időpontig) tűrése  $\pm 20\%$  a táblázatban megadott névleges értékekhez képest. Ez a követelmény a gyorsulás impulzus tényleges lefolyására vonatkozóan az ábrán adott gyorsulás tűréseken belül további szigorítást jelent. Nem engedi meg pl., hogy a gyorsulás lefolyása végig a felső tűréshatárt kövesse, mert akkor a sebességváltozás már nagyobb a megengedettnél. A táblázatban kiemelt értékek híradástechnikai gyártmányok vizsgálatánál előnyben részesítendő értékeket jelentenek. Az ejtegetésszám szállítási vizsgálat esetén 1000 vagy 4000 lehet minden vizsgálandó tengely irányában. Üzemi ejtegetésnél eltérő ejtegetésszám is előírható a tényleges igénybevételnek megfelelően. Berendezések és készülékek vizsgálatára elsősorban a 98 és 245  $m \cdot s^{-2}$  gyorsulás értéket és 1000 ejtegetésszámot célszerű előírni, alkatrészek és kisebb méretű szerelvények számára pedig a 390  $m \cdot s^{-2}$  gyorsulás és 4000 ejtegetésszám alkalmazása ajánlott. A mintákat csomagolatlan állapotban kell az igénybevételnek alávetni olyan merev rögzítési móddal, hogy az igénybevétel továbbítását az ejtegető asztaltól a minta felé minimális torzítással tudjuk biztosítani.

Szállítási vizsgálat esetén az alkatrészeket általában három, egymásra kölcsönösen merőleges tengely mindkét irányában, összesen tehát hat különböző helyzetben kell megvizsgálni, helyzetenként külön mintákon. Törekedni kell minél nagyobb mintaszámra. Ha hat vagy több mintánk van, akkor a hat különböző helyzet mindegyikében legalább egy mintát kell az előírt számú, pl. 4000 ejtegetésnek alávetni. Ha a



6. ábra Félszínusz alakú ejtegetési gyorsulás impulzus

1. táblázat

Maximális gyorsulás (A) m·s <sup>-2</sup> g	Névleges imp. időtartam, (D) ms	Névleges sebesség- változás m·s <sup>-1</sup>
49	5	50
<b>98</b>	<b>10</b>	<b>16</b>
147	15	16
<b>285</b>	<b>25</b>	<b>6</b>
<b>390</b>	<b>40</b>	<b>6</b>
735	75	3
<b>1470</b>	<b>150</b>	<b>1,5</b>

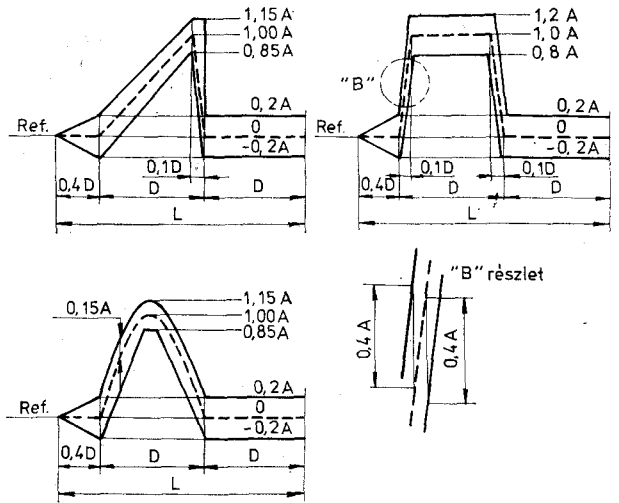
minták száma három, négy vagy öt, akkor azok mind-egyikét a hat lehetséges helyzet közül kettőben kell vizsgálni mintánként összesen 8000 ejtegetéssel. Két minta esetén mindkettőt a lehetséges hat helyzet közül háromban kell vizsgálni mintánként összesen 12 000 ejtegetéssel. Ha csak egyetlen minta áll rendelkezésünkre, azt mind a hat lehetséges helyzetben meg kell vizsgálnunk, a minta tehát összesen 24 000 ejtegetést kap. Kevés minta esetén tehát vállalnunk kell azt a kockázatot, hogy a minta a rendelkezésre álló darabszám csökkenésével mind nagyobb igénybevételt kap.

Berendezések és készülékek vizsgálata esetén, ha a minta egyetlen lehetséges üzemi, illetve szállítási helyzetű, a vizsgálatot általában elegendő ebben a kitüntetett helyzetben elvégezni, pl. 1000 előírt ejtegetéssel. Ha a mintára nincs előírva meghatározott üzemi vagy szállítási helyzet, illetve ha elő is van írva, de annak betartása garantáltan nem biztosítható, akkor az igénybevételt a termékszabványban előírt irányokban, általában három egymásra kölcsönösen merőleges irányban kell elvégezni, mintánként 3000 ejtegetéssel.

Szállítási vizsgálat esetén igénybevétel alatt a mintát legfeljebb akkor célszerű működtetni, ha ez hozzásegít az esetleges hibák felderítéséhez. Az üzemi ejtegetési vizsgálat az elmondottaktól abban tér el, hogy az ejtegetésre érzékeny jellemzőket ejtegetés közben ellenőrizni kell. Az ejtegetési számot és gyakoriságot ekkor úgy kell megválasztani, hogy az elegendő legyen a jellemzők megfigyelésére és értékelésére. Az ellenőrzést ejtegetés alatt legalább húsz ejtegetés során kell elvégezni.

### Ütésállóság (sokk) vizsgálata gyorsulás impulzussal

Az ütésállósági vizsgálat megállapítható, hogy a berendezések, készülékek, szerelvények és alkatrészek képesek-e elviselni működés közben, vagy szállításuk során olyan, viszonylag nem gyakori, nem ismétlődő, kisszámú, de nagy maximális értékű hirtelen ütés gyorsulásokat, amilyenek pl. rossz utakon, repülőgépek durva leszállásakor, rekordásnál léphetnek fel. Bennünket — az ejtegetéshez hasonlóan — a szállítási vizsgálat érdekel elsősorban.



D — a névl. imp. időtartama  
A — a névl. imp. maximális gyorsulása  
L — az imp. minimális megfigyelési ideje  
Ref. — referencia szint

B-125-7

7. ábra Az ütésállósági vizsgálat gyorsulás impulzus alakjai

Az alapvető gyorsulási impulzusalakok, amelyek legalább egyikének gerjesztésére az ütőgépnek alkalmasnak kell lennie, a fűrészfog, félszínusz és trapéz a 7. ábra szerint. A fűrészfog aszimmetrikus, viszonylag hosszú felfutási és rövid lefutási idő jellemzi. A félszínusz hasonló az ejtegetési hullámalakhoz, de tűrési annál szigorúbbak. A trapéznak mind a felfutási, mind a lefutási ideje rövid. Mindhárom impulzusalak esetében az impulzust megelőző feltételekre vonatkozó referenciaszint zérus gyorsulástól való eltérése legfeljebb  $\pm 0,05$  A vagy  $\pm 9,81$  m·s<sup>-2</sup> ( $\pm 1$  g) lehet. A három impulzusalakot széleskörűen alkalmazzák, mindegyiket viszonylag könnyű gerjesztetni. Az adott esetben legmegfelelőbb impulzusalak kiválasztása sok tényezőtől függ, s a kiválasztással járó nehézségek eleve kizárják, hogy a vizsgálati szabványokban valamilyen előnyösségi sorrend megadható legyen. A vizsgálat mai technikája az ütési impulzusokat az alak jellemzőivel írja elő. A vizsgálattechnika fejlődéséből azonban már látható, hogy előbb-utóbb az ütésspektrumot fogják alkalmazni az impulzusok megadására. Azonos maximális gyorsulás és impulzus időtartam mellett ugyanis az impulzusok sebességváltozása, spektruma, s így a mintára gyakorolt károsító hatása jelentősen eltér egymástól.

A 2. táblázat az ütési impulzusok jellemzőinek teljes választékát tartalmazza, amelyből a konkrét vizsgálathoz egy sort ki kell választani. A névleges gyorsulás maximális értéke 147—29 400 m·s<sup>-2</sup>-ig terjed (15—3000 g-ig), az impulzusok időtartama 0,2—18 ms között van. Azonos gyorsulás értékek többször is előfordulnak, de különböző impulzus időtartammal és sebességváltozással. A táblázat jól érzékelteti a különböző impulzusalakok sebességváltozása közötti jelentős eltérést. A sebességváltozás tűrési is szigorúbb, mint az ejtegetésnél, itt  $\pm 10\%$ . A táblázatban kiemelt értékek előnyben részesítendőek. Híradástechnikai gyártmányok számára elsősorban a 294 és 490 m·s<sup>-2</sup> (30 és 50 g) értékek fontosak.

2. táblázat

Maximális gyorsulás (A) m·s <sup>-2</sup>	g	Impulzus időtartam (D) ms	Sebességváltozás		
			fűrészfog m·s <sup>-1</sup>	félszínusz m·s <sup>-1</sup>	trapéz m·s <sup>-1</sup>
147	15	11	0,81	10,3	1,46
<b>294</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>2,65</b>	<b>3,37</b>	<b>4,77</b>
294	30	11	1,62	2,06	2,91
294	30	6	0,88	1,12	1,59
<b>490</b>	<b>50</b>	<b>11</b>	<b>2,09</b>	<b>3,43</b>	<b>4,86</b>
490	50	3	0,74	0,93	1,32
980	100	11	5,39	6,86	9,71
<b>980</b>	<b>100</b>	<b>6</b>	<b>2,94</b>	<b>3,74</b>	<b>5,30</b>
1960	200	6	5,88	7,49	10,60
1960	200	3	2,94	3,74	5,30
<b>4900</b>	<b>500</b>	<b>1</b>	<b>2,45</b>	<b>3,12</b>	<b>4,42</b>
9800	1000	1	4,90	6,24	8,83
<b>14700</b>	<b>1500</b>	<b>0,5</b>	<b>3,68</b>	<b>4,68</b>	<b>6,62</b>
29400	3000	0,2	2,94	3,74	5,30

A minta igénybevétel alatti működtetése általában még akkor sem követelmény, ha a gyártmányt tényleges felhasználása során ütések érhetik. Célszerű viszont az igénybevétel alatti működtetés akkor, ha az elősegíti a mechanikai és egyéb zavarok felismerhetőségét, a minta szerkezeti szilárdságának, konstrukciójának megítélését.

A mintákat általában csomagolatlan állapotban kell az ütőgép asztalára felerősíteni, illetve szállítási burkolatban akkor, ha ez a burkolat vagy védőszerelvény a mintának a részét képezi. A felerősítés módja azonos az ejtegetésnél elmondottakkal. Az ütések száma felerősítési irányonként három. A mintákat három egymásra kölcsönösen merőleges tengely mindkét irányában kell ütésnek alávetni és — az ejtegetéssel ellentétben — a különböző irányú ütések ugyanazon a mintán kell alkalmazni.

### A leejtés hatásának vizsgálata

A vizsgálat annak meghatározására szolgál, hogy a gyártmányok képesek-e a megengedettnél nagyobb mértékű károsodás nélkül elviselni olyan leejtéseket, amelyek főleg a szerelés, kezelés, szállítási rakodások során fordulnak elő, de a gyártmány természetéből adódóan felhasználás során is (pl. asztali távbeszélő készülék). A vizsgálat elsősorban csomagolatlan gyártmányokra vonatkozik. Csomagolással együtt csak akkor célszerű vizsgálni, ha a leejtés csomagolatlan állapotban biztosan nem fordulhat elő.

A vizsgálat lényege az, hogy a mintát meghatározott magasságról meghatározott minőségű felületre szabadon leejtik, s a minta így impulzusszerű mecha-

nikai igénybevételt kap. A vizsgálo felület sima, merev beton vagy acélfelület.

A szabványos leejtési magasságok: 25, 50, 100, 250, 500 és 1000 mm, az aláhúzott értékek előnyben részesítendők. Híradástechnikai berendezések számára elsősorban a 100 és 500 mm értéket javasoljuk, kisebb készülékek és készülékjellegű szerelvények számára pedig az 500 és 1000 mm magasságot. A minták valamennyi előírt felfüggesztési helyzetéből két-két leejtést kell végezni. A felfüggesztési helyzeteket az alkalmazás, hordozás, szállítás lehetséges helyzetei határozzák meg.

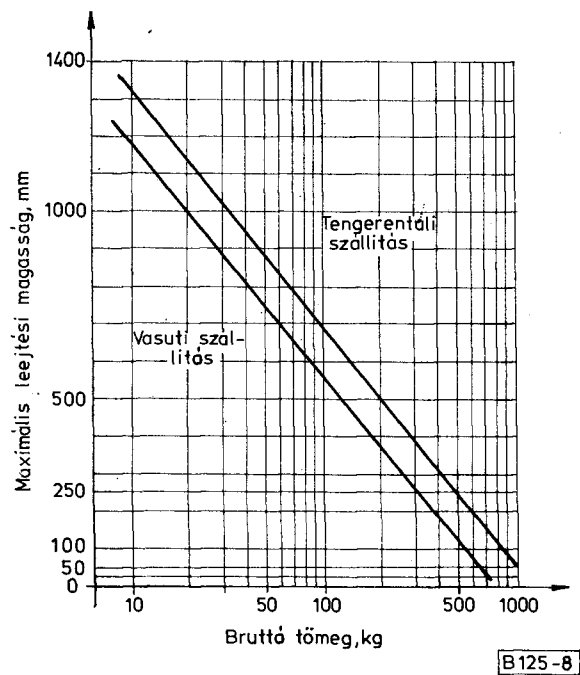
A leejtés magasságának megadását a vizsgálati módszer a termékszabványra bízta. Ezt nyilván nem írhatjuk elő ötletszerűen. A leejtési magasság, a minta súlya, mérete és hordozási-szállítási módja szoros összefüggésben van egymással. A 8. ábra a súly és leejtési magasság összefüggését szemlélteti hosszabb időn át végzett, nagyszámú, a világ különböző részeibe küldött szállítmányok sorsának objektív megfigyelése alapján, különböző rakodási, hordozási, szállítási módok mellett. Az összefüggés szállítási csomagolásban levő termékekre vonatkozik, és a megfigyelés objektivitását a csomagokban elhelyezett mérőelemek biztosították. Az alsó görbe vasúti szállítás esetére vonatkozik, a felső pedig nagytávolságú, főleg tengerentúli szállítás esetére, amelyben gyakorlatilag mindenféle szállítóeszköz szóhoz jut, s az útközbelen ki-be rakodások gyakoribbak. Az ábra jó alapot nyújt a megfelelő vizsgálati leejtési magasság megválasztására.

### Billentés és felborítás hatásának vizsgálata

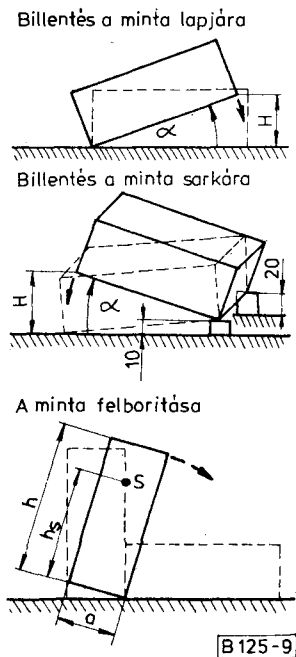
A vizsgálat a leejtéshez hasonlóan a durva kezelés, javítás, karbantartás, szállítás során előforduló véletlenszerű ütések következményeinek meghatározására szolgál, nem vonatkozik alkatrészekre. A vizsgálatot szintén elsősorban csomagolatlan gyártmányokon hajtják végre, csomagolt állapotban csak akkor célszerű vizsgálni, ha az igénybevétel csak csomagolt állapotban fordulhat elő (pl. súlyos nagyberendezések).

A vizsgálati szabvány háromféle vizsgálati módszert ír le, ezek a 9. ábra szerint: billentés a minta lapjára, billentés a minta sarkára és a minta felborítása. Az egyes módszerek célja ugyanaz, de eltérő kezelési módokat képviselnek. A vizsgálo felület ugyanaz az acél vagy betonfelület, mint a leejtésnél. Az ábrába bejelöltük a vizsgálat lényeges jellemzőit:  $H$  a billentési magasság,  $\alpha$  a billentési szög,  $S$  a súlypont,  $h$  a minta magassága,  $h_s$  a súlypont magassága,  $a$  pedig az alaplap kisebbik mérete.

A „billentés a minta lapjára” módszer alkalmazása esetén a vizsgálo felületen felhasználási helyzetében álló mintát egyik alapéle körül elforgatva úgy kell megemelni, hogy a forgástengellyel szemközt él és a vizsgálo felület közti távolság — a billentési magasság vagy szög — meghatározott értékű legyen. A mintát ezután el kell engedni és hagyni, hogy szabadon visszabilenjen a vizsgálo felületre. Az előírt alapélek (legfeljebb négy alapél) körül egy-egy billentést kell alkalmazni.  $H$  értéke 25, 50 vagy 100 mm legyen



8. ábra Leejtési magasság és súly összefüggése



9. ábra A billentés és felborítás végrehajtása

(a minta méreteinek és súlyának növekedésével mind kisebb). Ha az előírt  $H$  érték mellett  $\alpha$  a  $30^\circ$ -ot meghaladná, akkor  $H$  csökkentésével az  $\alpha = 30^\circ$ -os szöget kell beállítani.

A „billentés a minta sarkára” módszer esetén a vizsgáló felületen felhasználási helyzetében álló minta egyik alapélét a vizsgáló felület fölé emeljük úgy, hogy egyik sarka alá 10 mm, a másik sarka alá pedig

20 mm magas faalátétet helyezünk. Ezután a mintát az alátéteken nyugvó éle körül forgatva úgy kell megdönteni, hogy a vizsgáló felület és a 10 mm-es alátéttel szomszédos sarok közti távolság (vagy szög) a kívánt értékű legyen.  $H$  és  $\alpha$  értéke azonos az előbb említettekkel. Majd a mintát elengedjük és hagyjuk szabadon visszabilenni a vizsgáló felületre. Az alaplap mind a négy sarkán egy-egy billentést kell elvégezni.

A „minta felborítása” módszer alkalmazása esetén a vizsgáló felületen felhasználási helyzetében álló mintát egyik alapéle körül forgatva döntjük meg úgy, hogy bizonytalan egyensúlyi helyzetbe kerüljön. A mintát ezután engedjük el és hagyjuk, hogy ebből a helyzetből oldallappal a vizsgáló felületre szabadon felboruljon. A mintát az előírt alapélek körül egy-egy felborításnak kell alávetni. Felborításnál figyelembe kell venni a súlypontarányt ( $p_s = h_s/a$ ) és a magasságarányt ( $p_h = h/a$ ). Ha  $p_s$  kisebb 0,25-nél, illetve  $p_h$  kisebb 0,5-nél, akkor hirtelen oldalirányú erőhatásnál a mintaborulás valószínűsége nagyon kicsi és az igénybevétel elvégzése nem indokolt.

### Szinuszos rázás hatásának vizsgálata

A vizsgálati módszer a gyártmányok felhasználása és szállítás során előforduló rázással szembeni ellenállóképesség meghatározására szolgál. Az ilyen harmonikus rezgéseket elsősorban forgó, pulzáló, oszcilláló erők keltik, pl. a különböző szállításközök, szerzőgépek stb.

A vizsgálat három különálló szakaszból áll, ezek: a minta kezdő rázásátvitelének ellenőrzése, a minta fárasztása, a minta befejező rázásátvitelének ellenőrzése.

A kezdő rázásátvitel ellenőrzése során az előírt frekvencia tartomány végigpásztázásával megállapítjuk a minta mechanikai rezonanciáit, más kritikus frekvenciáit, a működési jellemzők zavarait, egyéb mechanikai átviteli tulajdonságait. Azokat a frekvenciákat és rázási amplitúdókat, amelyeknél ilyen hatások bekövetkeznek, feljegyezzük. A vizsgálatnak ez az első, felderítő szakasza általában a fárasztásnál lassúbb frekvencia letapogatással és kisebb rázási amplitúdóval történik.

Ezt követi a vizsgálat második, s egyben fő szakasza, a fárasztás, mely háromféleképpen végezhető el az alábbiak szerint:

Meghatározott amplitúdójú és időtartamú pásztázás előírt frekvenciasávban, 1 oktáv/perc pásztázási sebességgel és exponenciális frekvenciaváltoztatással.

Fárasztás a kezdő rázásátvitel ellenőrzésekor tapasztalt rezonancia frekvenciákon, vagy kritikus frekvenciákon.

Fárasztás a termékszabványban előre kijelölt frekvenciákon.

A minta rázásátvitelének befejező ellenőrzése az utolsó vizsgálati szakasz. Ennek során ismét ellenőrizni kell a frekvenciafüggő hatásokat, rezonancia



A szinuszos rázás frekvencia választéka

alsó határfrekv.	felső határfrekv.	ajánlott frekvenciasávok
$f_1$ , Hz	$f_2$ , Hz	$f_1 - f_2$ , Hz
0,1	10	1 - 35
1	20	1 - 100
5	35	10 - 55
10	55	10 - 150
55	100	10 - 500
100	150	10 - 2000
	300	10 - 5000
	500	55 - 500
	2000	55 - 2000
	5000	55 - 5000
		100 - 2000

és kritikus frekvenciákat, hogy azok a kezdő értékekkel megegyeznek-e. Az eltérés ugyanis rendszerint valamilyen szerkezeti vagy egyéb hibára utal, amit a fárasztás során nem lehetett észlelni.

Az elmondottak szerint a vizsgálati módszer változatai a következők:

A—B1—C, A—B2—C, A—B3—C, A—B1—B2—C, B1

ahol:

A = kezdő rázásátvitel ellenőrzés,

B1 = fárasztás pásztázással,

B2 = fárasztás az „A” ellenőrzés során tapasztalt rezonancia- vagy más kritikus frekvenciákon

B3 = fárasztás a termékszabványban előre kijelölt frekvenciákon,

C = befejező rázásátvitel ellenőrzés.

Az általános eljárás az A—B1—C, legtöbbször ez kerül alkalmazásra. Az A—B2—C eljárás olyan mintánál alkalmazható, amelyek az „A” ellenőrzés során kisszámú, élesen megkülönböztethető rezonancia- vagy kritikus frekvenciát mutattak. Az A—B3—C eljárást csak akkor alkalmazhatjuk, ha már előre biztosan ismerjük a tényleges felhasználás során várható és legfontosabb igénybevételt jelentő frekvenciákat. Az A—B1—B2—C eljárást akkor célszerű alkalmazni, ha a minta a kevés éles rezonancia- és kritikus frekvencia mellett több kevésbé határozottat is mutat. Nagyon sokszor elég csak a B1 eljárást követni, főleg a korszerű alkatrész minták esetében, amelyeknél sem optikai, sem egyéb módszerrel közvetlenül meg sem figyelhetők a rezonancia- vagy kritikus frekvenciák.

A mintákat, ha azok tényleges működésük közben is ki vannak téve rázásnak, fárasztás alatt feltétlenül működtetni kell, hogy a működési zavarok felismerhetők legyenek. Szállítási rázás alatt a működtetés nem követelmény, de célszerű, mert a működtetés gyakran elősegíti a mechanikai hibák felismerését. A minták rázóasztalra való felfogásának elvei azonosak az ejtegetésnél elmondottakkal.

A mintákat általában három, egymásra kölcsönösen merőleges irányban kell az igénybevételnek alávetni olyan sorrendben, amely legalkalmasabbnak látszik az esetleges hibák felderítésére. Mindegyik mintát mindegyik irányban rázni kell, nem képezhetők irányonként külön mintacsoportok.

Az igénybevétel szigorúságát a frekvenciasáv, rázási amplitúdók és fárasztási időtartam kombinációjá határozza meg. A 3. táblázat tartalmazza azokat az alsó és felső határfrekvenciákat, amelyek lehetséges kombinációiból kell a vizsgálati frekvenciasávot kiválasztani. Az ajánlott frekvenciasávokat a táblázat utolsó oszlopa mutatja. A táblázatban kitüntetett frekvenciák vonatkoznak elsősorban a híradástechnikai gyártmányokra.

A rázási amplitúdók állandó kilengés és állandó gyorsulás értékekkel vannak meghatározva. Mielőtt továbblépnénk, ismerkedjünk meg a keresztezési frek-

vencia fogalmával: az a frekvencia, amely az állandó kilengési amplitúdóval és állandó gyorsulási amplitúdóval jellemzett vizsgálati tartományokat elválasztja egymástól, tehát amely frekvencia alatt az igénybevételt állandó kilengés fenntartásával, felette pedig állandó gyorsulás fenntartásával kell végezni. A vizsgálattechnika — a természetes körülményekhez illeszkedve — két ilyen keresztezési frekvenciát részesít előnyben, az egyik 8—9 Hz között van, a másik pedig 57—62 Hz között. A híradástechnika számára elsősorban utóbbi a lényeges (a kisebb értéket az MSZ még nem is tartalmazza). A 4. táblázat az ajánlott rázási amplitúdó értékeket mutatja be, a keresztezési frekvencia itt 57—62 Hz között van. A keresztezési frekvencia alatt a kilengési amplitúdó táblázat szerinti értéke állandó, miközben a gyorsulási amplitúdó a frekvencia növekedésével folyamatosan növekszik. A keresztezési frekvencián a kilengéssel és gyorsulással adott értékek pontosan megfelelnek egymásnak, a gyorsulási amplitúdó eléri a táblázat szerinti értéket. A keresztezési frekvencia felett pedig már a gyorsulási amplitúdó táblázat szerinti értéke állandó, miközben a frekvencia növekedésével a kilengési amplitúdó értéke folyamatosan csökken.

A pásztázással történő fárasztás időtartamát rázási irányonként legújabbán pásztázási ciklusszámban adják meg és a következő értékekből választható: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 ciklus. Korábban a ciklusszámmal való megadás helyett időtartam megadás szerepelt, s a jelenség érvényes MSZ-ben is ez van még: 30 perc, 90 perc, 6, 30, 150 óra fárasztási idő három irányra összesen. Az 5. táblázatban megadjuk a pásztázási ciklusok száma és a hozzájuk tartozó időtartamok összefüggését kerekített időértékekkel.

A fárasztás időtartama a tapasztalt rezonancia- és kritikus frekvenciák mindegyikén irányonként: 10, 30, 90 perc, 10 óra (az MSZ-ben szerepel még 10<sup>7</sup> periódus is, mint felső határ).

4. táblázat

Ajánlott rázási amplitúdók		
kilengési amplitúdó keresztelési frekv. alatt	gyorsulási amplitúdó a keresztelési frekvencia felett	
	m·s <sup>-2</sup>	g
0,035	4,9	0,5
0,075	9,8	1,0
0,15	19,6	2,0
0,35	49	5,0
0,75	98	10
1,0	147	15
1,5	196	20
2,0	294	30
3,5	490	50

Az előre kijelölt frekvenciákon való fárasztás idejét a termékszabványban annak megfontolása alapján kell előírni, hogy a gyártmánynak élettartama alatt milyen teljes időtartamon át kell feltételezhetően ilyen rázást kiállnia. Frekvenciánként és irányonként a 10<sup>7</sup> periódust felső határnak kell tekinteni.

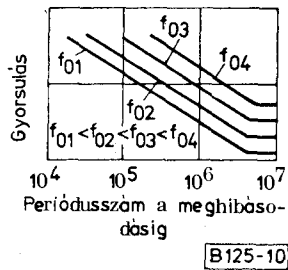
Alkatrészek rezonancia frekvencián való fárasztási vizsgálatából fontos következtetések adódnak a 10. ábra alapján. A görbék a minták meghibásodási helyeinek átlagvonalát jelentik. Világosan mutatják, hogy szoros összefüggés van a rázási szint, a meghibásodásig terjedő rázási periódusok száma és a rezonancia frekvencia között. Azonos gyártmányok meghibásodása nagyobb rázási szinten sokkal hamarabb

bekövetkezik, a szint csökkentésével pedig egyre később. Azonos rázási szint mellett pedig a kisebb rezonancia frekvenciájú gyártmányok kisebb periódusszám után esnek ki, mint a nagyobb rezonancia frekvenciájúak. A görbék 10<sup>7</sup> periódusszám környékén az abszcisszával párhuzamossá válnak. E vízszintes vonalszakaszok alatti rázási szintek mellett a periódusszámot már hiába növeljük, meghibásodás már nem következik be. A görbék töréspontja a „fáradási határ”. Az ábra szemléltetően indokolja, hogy a vizsgálati szabvány a rezonancia- vagy más kritikus frekvenciákon és az előre kijelölt frekvenciákon való rázás időtartamára miért adja meg felső határként a 10<sup>7</sup> periódus idejét.

A mechanikai tartóssági vizsgálatokkal kapcsolatban sokszor okoz problémát az, hogy a mintát csomagolatlanul, vagy csomagoltan kell-e az igénybevételnek alávetni. A vizsgálati szabványok általában a csomagolatlan állapotban való vizsgálatot írják elő. Alkatrészek esetében, s ha a gyártmány felhasználás közben is ki van téve mechanikai igénybevételeknek, ez egyértelműen elfogadható. A probléma elsősorban a szállítási vizsgálatnál merül fel készülékekkel és berendezésekkel kapcsolatban, hogy vajon nem jelent-e felesleges szigorítást a csomagolás nélküli igénybevétel. Kétségtelen, hogy megfelelő rezgészigetelésű csomagolással jelentősen csökkenteni lehet a gyártmányra ható erők nagyságát. A csomagolási módszerek azonban rezgészigetelés szempontjából legtöbbször csak durván becsülhetők, viszonylag gyakran változnak, csökkentik a vizsgálat reprodukálhatóságát, nem teszik lehetővé a rezonanciák megfigyelését, továbbá gyakran előfordul a gyártmányok nem eredeti csomagolásban való ismételt szállítása is. Ilyen esetekben feltétlenül a csomagolás nélküli vizsgálat a helyes, csak az adhat pontos képet a gyártmány mechanikai szilárdságáról és ellenállóképességéről. S a mechanikai tartóssági vizsgálá-

5. táblázat

Frekvencia- tartomány Hz	Pásztázási ciklusok száma fárasztási irányonként és a megfelelő fárasztási időtartam						
	1	2	5	10	20	50	100
1 – 35	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	17 h
1 – 100	13 min	27 min	1h 05 min	2 h 15 min	4 h 30 min	11 h	22 h
10 – 55	5 min	10 min	25 min	45 min	1 h 45 min	4 h	8 h
10 – 150	8 min	16 min	40 min	1h 15 min	2 h 30 min	7 h	13 h
10 – 500	11 min	23 min	55 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h
10 – 2000	15 min	31 min	1 h 15 min	2 h 30 min	5 h	13 h	25 h
10 – 5000	18 min	36 min	1 h 30 min	3 h	6 h	15 h	30 h
55 – 500	6 min	13 min	30 min	1 h	2 h	5 h	11 h
55 – 2000	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	17 h
55 – 5000	13 min	26 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 15 min	11 h	22 h
100 – 2000	9 min	17 min	45 min	1 h 30 min	3 h	7 h	14 h



10. ábra. Alkatrészek rázása rezonancia frekvencián

tok célja éppen az utóbbiak meghatározása, a csomagolást is ehhez kell tervezni, a csomagolás vizsgálata pedig külön vizsgálati téma. Különleges esetekben viszont, amikor a gyártmány szállításához elengedhetetlen követelmény a csomagolás rezgészigetelésnek és egyéb mechanikai tulajdonságainak pontos ismerete, a csomagolt állapotban való vizsgálat is szükséges lehet a csomagolás nélkül végzett vizsgálat mellett.

A mechanikai tartóssági vizsgálatok területe igen széleskörű. A cikk keretében csupán azokról a legfontosabb kérdésekről adtunk összefoglalót, melyek saját vizsgálati lehetőségeinkkel jelenleg megvalósíthatók. Befejezésül a 6. táblázatban felsoroljuk az érvényes MSZ, KGST és IEC mechanikai tartóssági vizsgálati szabványokat, a 7–10. táblázatban pedig telefontechnikai gyártmányok vizsgálati tapasztalatai és irodalmi ajánlások alapján javaslatot teszünk

Mechanikai tartóssági vizsgálati módszer szabványok			
a szabvány címe	MSZ	KGST RSZ	IEC Publ.
Ejtegetésállósági vizsgálat	8888/5	4467	68-2-29
Színuszos rázás hatásának vizsgálata	8888/6	4469	68-2-6 1. kieg.
Leejtés hatásának vizsgálata	8888/7	4463	68-2-32
Billentés és felborítás hatásának vizsgálata	8888/8	4468	68-2-31
Ütésállóság (sokk) vizsgálata gyorsulásimpulzussal	8888/13	4466	68-2-27
Állandó gyorsulás	-	Kiadás alatt	68-2-7
Szélessávú rendezetlen rázás hatásának vizsgálata	-	-	68-2-34 68-2-35 68-2-36 68-2-37
Léghangok (zajok) hatásának vizsgálata	8888/23	Kiadás alatt	ISO/DIS 2671.2 kerül átvételre

a híradástechnikai gyártmányokkal szemben támasztott vizsgálati követelményekre.

7. táblázat

Lökésszerű igénybevételek vizsgálati követelményei

vizsgálati módszer	gyártmány típus	50 kg vagy nehezebb helyhez kötött telepített berendezés és készülék		50 kg-nál könnyebb helyhez kötött telepített berendezés és készülék; beépített szerelvények és alkatrészek	
	az igénybevétel fellépése	üzem közben	kikapcsolt állapotban	üzem közben	kikapcsolt állapotban
	jellemző	vasút, közút, hajó, repülőgép		vasút, közút, hajó, repülőgép	
Ejtegetés	Gyorsulás, $m \cdot s^{-2}$	Lökésszerű igénybevétel üzem közben nem fordul elő	98	Lökésszerű igénybevétel üzem közben nem fordul elő	245, 390
	Ejtésszám/irány		1000		1000, 4000
Ütés (sokk)	Gyorsulás, $m \cdot s^{-2}$		294		490
	Ütésszám/irány		3		3
Billentés és felborítás	Billentési magasság, H, mm		100 (30°)		100 (30°)
	Billentés száma alapélenként		1 A)		1 A)
	Billentés száma sarkonként		1 A)		1 A)
	Felborítás száma alapélenként		0		(1) A)
Leejtés	Leejtési magasság, mm	100, 500	500, 1000		
	Leejtés száma helyzetenként	2 A)	2 A)		

A) Csomagolt állapotban

Lökésszerű igénybevételek vizsgálati követelményei

vizsgálati módszer	gyártmánytípus	hordozható és járműbe építhető berendezés és készülék		hordozható és járműbe építhető berendezésbe és készülékbe beépített szerelvények és alkatrészek	
	az igénybevétel fellépése	üzem közben	kikapcsolt állapotban	üzem közben	kikapcsolt állapotban
	jellemző	szállítási mód		vasút, közút, hajó, repülőgép	
Ejtegetés	Gyorsulás, $m \cdot s^{-2}$	245		390	
	Ejtésszám/irány	4000		4000	
Útés (sokk)	Gyorsulás, $m \cdot s^{-2}$	490		490, 980	
	Útésszám/irány	3		3	
Billentés és felborítás	Billentési magasság, H, mm	100 (30°)		100 (30°)	
	Billentés száma alapélenként	1 B)		(1) B)	
	Billentés száma sarkonként	1 B)		(1) B)	
	Felborítás száma alapélenként	1 B)		(1) B)	
Leejtés	Leejtési magasság, mm	100, 500		500, 1000	
	Leejtés száma helyzetenként	2 C)		2 C)	

B) Általában csomagolatlan állapotban

C) Általában csomagoltan vagy hordozó dobozban, megfontolással csomagolatlan állapotban

9. táblázat

Rázásállósági igénybevétel vizsgálati követelményei

rázásállósági vizsgálati eljárás	gyártmánytípus	50 kg vagy nehezebb helyhez-kötötten telepített berendezés és készülék		50 kg-nál könnyebb helyhez-kötötten telepített berendezés és készülék; beépített szerelvények és alkatrészek	
	az igénybevétel fellépése	üzem közben	kikapcsolt állapotban	üzem közben	kikapcsolt állapotban
	jellemző	szállítási mód		vasút, közút, hajó, repülőgép	
Kezdő rázásátvitel ellenőrzése	Frekvenciasáv, Hz	10 – 55		10 – 150	
	Amplitúdó, $mm/m \cdot s^{-2}$	0,15/19,6		0,15/19,6 0,35/49	
	Ciklus/irány	1		1	
Fázisátvitel pásztázással	Frekvenciasáv, Hz	10 – 55		10 – 150	
	Amplitúdó, $mm/m \cdot s^{-2}$	0,15/19,6 0,35/49		0,35/49 0,75/98	
	Ciklus/irány	10 20		20 10	
Fázisátvitel rezonancia és kritikus frekv.-án	Frekvencia, Hz	Rezonancia és kritikus frekv.		Rezonancia és kritikus frekv.	
	Amplitúdó, $mm/m \cdot s^{-2}$	0,15/19,6		0,35/49	
	Perc/irány	10		10	
Befejező rázásátvitel ellenőrzése	Frekvenciasáv, Hz	10 – 55		10 – 150	
	Amplitúdó, $mm/m \cdot s^{-2}$	0,15/19,6		0,15/19,6 0,35/49	
	Ciklus/irány	1		1	

Az igénybevétel szigorúságát a tényleges üzemi viszonyoknak megfelelően választani

Az igénybevétel szigorúságát a tényleges üzemi viszonyoknak megfelelően választani

Rázásállósági igénybevétel vizsgálati követelményei									
rázásállósági vizsgálati eljárás	gyártmánytípus	hordozható és járműbe építhető berendezés és készülék				hordozható és járműbe építhető berendezésbe és készülékbe beépített szerelvények és alkatrészek			
	az igénybevétel felépése	üzem közben		kikapcsolt állapotban		üzem közben		kikapcsolt állapotban	
	száll. mód jellemző	vasút, közút, hajó	repülőgép	vasút, közút, hajó	repülőgép	vasút, közút, hajó	repülőgép	vasút, közút, hajó	repülőgép
Kezdő rázásátvitel ellenőrzése	Frekv. sáv, Hz	10–55	10–150	10–55	10–500	10–55	10–500	10–55	10–500
	Amplitúdó, mm/m·s <sup>-2</sup>	0,15/19,6		0,15/19,6		0,15/19,6 0,35/49		0,15/19,6 0,35/49	
	Ciklus/irány	1		1		1		1	
Fárasztás pásztázással	Frekv. sáv, Hz	10–55	10–150	10–55	10–500	10–55	10–500	10–55	10–500
	Aplitúdó, mm/m·s <sup>-2</sup>	0,75/98		0,35/49 0,75/98		0,75/98		0,75/98	
	Ciklus/irány	20		20	10	20 50	10 20	20	10
Fárasztás rezonancia és kritikus frekv.-án	Frekvencia, Hz	Tapasztalt rezonancia és kritikus frekvencia							
	Amplitúdó, mm/m·s <sup>-2</sup>	0,35/49		0,35/49		0,35/49 0,75/98		0,35/49 0,75/98	
	Perc/irány	30		10		30		30	
Befejező rázásátvitel ellenőrzése	Frekv. sáv, Hz	10–55	10–150	10–55	10–500	10–55	10–500	10–55	10–500
	Amplitúdó, mm/m·s <sup>-2</sup>	0,15/19,6		0,15/19,6		0,15/19,6 0,35/49		0,15/19,6 0,35/49	
	Ciklus/irány	1		1		1		1	