

BÉRES ISTVÁN

Ny. MÁV mérnök főtanácsos

A 250 km/h sebességre alkalmas GH250-3 típusú forgóváz a hazai járműfejlesztés jelentős sikere (3. rész)

Összefoglaló

A mintegy nyolc évtizedes múltú hazai forgóváz fejlesztés mindvégig a vasúti szakemberek érdeklődésének középpontjában állt. A céltudatos munka – az állandó tökezegényesség ellenére – fokozatosan egymásra épülő, újabb és a kor mindenkori színvonalának megfelelő típusok megjelenésében valósult meg. Cikkünk 1-2. részében a fenti fejlődés fontosabb lépcsőfokait igyekszünk felvázolni. A 3. részben pedig a DB Minden Kutatási és Kísérleti Központja által elvégzett vizsgálatok eredményeit ismertetjük. A futásbiztonság, a pálya igénybevétel és a futásjóság meghatározása érdekében végzett, rendkívül magas színvonalú vizsgálatok eredményei azt bizonyítják, hogy a GH 250-3 típusú forgóváz a vonatkozó UIC döntvényekben, illetve az európai normákban lefektetett követelményeknek megfelel.

BÉRES, ISTVÁN
Dipl.-Ing.
MÁV-Oberbaurat, i.R.

Drehgestell Typ GH250-3 für 250km/h Geschwindigkeit – bedeutender Erfolg der Schienenfahrzeugentwicklung in Ungarn (Teil 3.)

Zusammenfassung

Die Entwicklung von Drehgestellen für Schienenfahrzeuge war während der letzten ca. 8 Jahrzehnte umfassenden Zeitspanne stand stets der Mittelpunkt der Interesse der Eisenbahnfachleute in Ungarn. Die zielstrebige Arbeit liess sich – trotz andauerndem Kapitalmangel – in Form von stufenweise nacheinander folgenden neuen, dem technischen Niveau des jeweiligen Zeitalters entsprechenden Type realisieren. Teil I des Beitrags behandelt die wichtigsten Stufen dieser Entwicklung, im Teil 3 erfolgt die Angabe die Ergebnisse der durch DB Forschungs- und Versuchszentrale Minden durchgeführten Untersuchungen. Die Ergebnisse der für die Ermittlung der Laufsicherheit, Streckenbeanspruchung und Laufgüte durchgeführten Untersuchungen höchster Niveaus haben bestätigt, wonach das Drehgestell Typ GH 250-3 die in den diesbezüglichen UIC-Kodexen bzw. Europäischen Normen getroffenen Anforderungen erfüllt.

ISTVÁN BÉRES
Retired MÁV senior engineer councillor

The Bogie Type GH250-3 for 250 km/h is the Remarkable Success of the Hungarian Rolling Stock Development (Part 3.)

Summary

The development of the bogies in Hungary has same some 80 years old history, which was always in the limelight of the railway experts. The ambitious work resulted in the appearance of the up to date types of the era developed from the earlier versions, despite the constant lack of capital. The more important stages of the development mentioned above are drawn up in the first part of the article, and the test results of the Research and Experimental Centre of the DB in Minden are reviewed in the third part. The results of the high-quality tests demonstrate that the type GH250-3 bogies meet the requirements of the UIC leaflets and EN norms concerning the running safety, track load and running dynamic behaviour. from the.

Cikksorozatunk 1. és 2. részében (megjelent a Vasútgépészet 2016. 4. és 2017. 1. számában) áttekintettük azt a hazai fejlesztési folyamatot, amely a nagysebességre alkalmas forgóvázhoz vezetett. A 3. részben a GH 250-3 típusú forgóváz rövid leírásával, a nagysebességű vizsgálatokra vonatkozó UIC és EN előírások alapjával és a DB Minden Kutatási és Kísérleti Központja által végzett futástechnikai mérések főbb eredményeivel ismertetjük meg Olvasóinkat.

A BDV-villamos motorvonat – cikkünk 1. részének 4. ábráján szemléltetett – forgóváza szolgált alapul a GH 250-3 típusú, a 10. ábrán látható, 260 km/h sebességig kipróbált forgóváz kialakításához. Klasszikus értelemben vett fejlesztésről tulajdonképpen nem beszélhetünk, mivel a kísérletekhez, az egyes fejlesztési lépcsők kipróbálásához sem próbaberendezés, sem nagysebességre alkalmas próbapálya-szakasz

nem állt rendelkezésre. A fejlesztési munka alapja kizárólag a tapasztalat és a számítás volt.

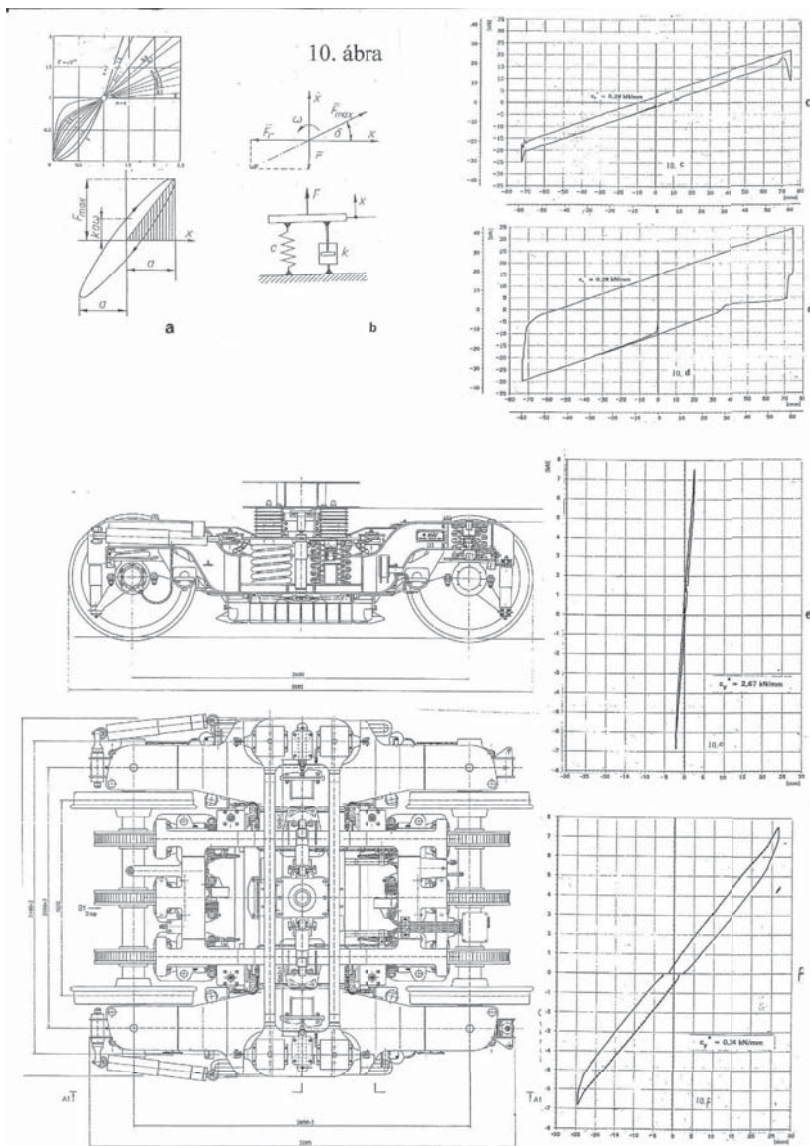
Az eredeti BDV-forgóváz nem alkalmas az elektromágneses sínfék beépítésre, a forgóváz szekunder rugólépcsőjébe beépített csavarugók és a rájuk támaszkodó szekrénytám-gumi-rugók együttesen meglehetősen nagy rugóhosszat eredményeztek, ezért a forgóváz hossztartókat a primer rugók közötti részben le kellett mélyíteni. Így a hossztartók alsó síkja és a sínkorona felső éle között távolság nem volt elegendő az elektromágneses sínfék beépítésére. A MÁV kérésére azonban a GH Rt. tervező-mérnökei a forgóvázkeret áttervezését sikeresen megoldották, így a nagysebességű forgóváz kialakításának féktechnikai akadálya elhárult és a figyelem főleg a futástechnikai problémák megoldására irányulhatott. Cikkünk folytatásában főleg a DB Minden Kutatási és Kísérleti Központjának

vizsgálataira térünk ki, melyek eredményei igazolják, hogy ezeket sikerült elfogadható módon megoldani.

A GH-250-3 –forgóváz főbb jellemző adatai a következők:

- nyomtáv: 1435 mm
- tengelytáv: 2600 mm
- kerék futókörméret, új/kopott: 920/860 mm
- tömeg: 7,5 t
- max. tengely erő: 180 kN
- legnagyobb üzemi sebesség: 250 km/h
- legkisebb bejárható ívsugár: 80 m
- szerkezeti szelvény: UIC 505-2

A BDV motorvonat futó-forgóvázát és a GH 250-3 forgóvázat összevetve (4. és 10. ábra) feltűnik, hogy a két altípus a szerkezeti kialakítás szempontjából csak igen kismértékben különbözik egymástól. Futástechnikai szempontból jelentős eltérés a kigyózásgátló, más



10. ábra: a GH 250-3 nagysebességű forgóváz

- a. lengéscsillapító karakterisztikák
- b. a gumirugó modell
- c. forgóváz-elfordításhoz szükséges erő/elmozdulás (elfordulás) jelleggörbe kigyózásgátló lengéscsillapítók nélkül
- d. az elfordítási erő: kigyózásgátló lengéscsillapítóval
- e. oldalirányú erő/elmozdulás jelleggörbe gumirugó nélkül
- f. erő/elmozdulás gumirugóval

szóval a futásstabilizáló lengéscsillapítók alkalmazása a nagysebességű változatnál. Cikkünk 1. részében – a rugózott oldaltámok előnyeinek rövid felsorolásánál – már rámutattunk, hogy a forgóváz/szekrény kapcsolatnál meghatározott mértékű munkaemésztésre van szükség. Konvencionális kialakítású járművek esetén a szükséges munkaemésztést általában súrlódással oldották meg az oldaltámokon és/vagy a forgócsapnál működő F_s - súrlódó

erőt az alábbi egyszerű összefüggés fejezi ki:

$$F_{s=} = - \mu F_n \text{ sign}(V_r)$$

ahol:

F_s - a súrlódó erő

μ - a súrlódási tényező

F_n - a normálerő

V_r - a csúszó felületek közötti relatív sebesség

A μ - súrlódási tényező azonban a V_r -relatív sebességnek is függvénye.

Ha $V_r=0$, $\mu = \mu_0$ - nyugvó súrlódás, $V_r \neq 0$, $\mu = \mu_m$ - mozgó súrlódás, azaz az ismert összefüggésen túlmenően, $\mu_0 > \mu_m$, a μ_m - értéke a súrlódó felületek közötti relatív sebességtől is függ, ennek növekedésével általában csökken:

$$\mu_m = f\left(\frac{V_r}{|V_r|}\right)$$

a jármű üzemeltetése során a csúszó felületek, simasága is változhat, amit csak a szekrény megemelésével lehet megvizsgálni, illetve javítani.

A hidraulikus lengéscsillapítók működési elve, hogy a dugattyús hengerben lévő folyadék megfelelő fojtás mellett áramlik át a dugattyú egyik oldaláról a másikra. A lengéscsillapítás működését az alábbi összefüggés fejezi ki.

$$F_d = c \cdot v^n$$

az egyenletben:

F_d - a csillapító erő

c - a lengéscsillapító típusától függő állandó

v - a mozgás (lengés) forgóváz kigyózás sebessége

n - a lengéscsillapító működésének szabályozásától függő állandó

keresztmetszetű fojtás esetén a turbulencia miatt: $n=2$, a leginkább használatos lengéscsillapítóknál: $n=1$, vagyis a csillapító erő a sebességgel arányos. Ez esetben a folyadék áramlás szabályozásáról kell gondoskodni, melynek eredményeképpen elérhető, hogy a kitevő a zérus és a 1-között helyezkedjen el ($0 < n < 1$). Ez esetben F_d a sebesség függvényében degresszívvé válik.

A kigyózásgátló lengéscsillapítás elve, hogy a viszonylag kis tömegű forgóvázat – a munkaemésztő lengéscsillapítókkal – a nagytömegű szekrényhez (mint kvázi-fix tömeghez) csatoljuk. Instabil futás esetén (amely egyenes vonalrészben alakul ki) a forgóváz csak kismértékben fordul el a szekrényhez képest, míg pályáivekben az elfordulás sokkal nagyobb.

Ha megvizsgáljuk a csillapító erő mértékét az x -kitérés függvényében a következőket látjuk:

ha a mozgás sebességének csillapító

kitevője:	erő:
n=2	$c \cdot x^2$
n=1	$c \cdot x$
n=0	c

A fentiek azt bizonyítják, hogy a kigyózás-gátlás szempontjából a súrlódó csillapítás – mivel az erő mértéke nem függ a kitéréstől –előnyösebb, mint a hidraulikus. A súrlódás előzőekben felsorolt hátrányait figyelembe véve, azonban mégis a hidraulikus lengéscsillapító látszik előnyösebbnek, ha az elmozdulás sebességének kitevője: $0 < n < 1$, tehát a karakterisztikája degresszív.

A 10.c ábra a forgóváz elfordulásánál jelentkező rugalmas és csillapító erőt szemlélteti a kigyózás-gátló lengéscsillapító alkalmazása nélkül. Az ábrán látható hiszterézis hurok-görbe területe a gumirugó által felemésztett energiával arányos. Ez a csillapítás működik az 1. rész 4. ábráján látható BDV-forgóváz/szekrény kapcsolatnál, ahol kigyózás-gátló lengéscsillapító nincs bekötve, a kritikus sebesség mégis viszonylag magasra, 170 km/h-ra adódott (K6-kerékprofil esetén). A gumirugó munkaemésztő képességét úgy vehetjük figyelembe, ha egy ideális rugóval és ezzel párhuzamosan kapcsolt lengéscsillapítóval modellezzük. (A szakirodalomban ennél általában bonyolultabb rugó-csillapító kombinációval modellezik) Ha a fentiekben leírt rendszert x irányban periódikusan (szinuszosan), ω szögsebességgel mozgatjuk, akkor a mozgáshoz szükséges erő két erő összegéből tevődik össze: (10.b ábra)

A rugóállandót k-val, a csillapítási tényezőt c-vel jelölve és feltételezve, hogy a csillapítás a sebességgel arányos (kitevő: n=1) felírhatjuk a következő összefüggést:

Deformációs erő = rugóerő + csillapító erő

Ha a mozgás lefolyása: a $\sin \omega t$, akkor a deriváltja, azaz a sebesség: a $\omega \cos \omega t$, a rugóállandót k-val, csillapítási tényezőt c-vel jelölve:

$$F = k \sin \omega t + c \omega \cos \omega t$$

Ha a fenti egyenlet által leírt mozgást elmozdulás-erő koordináta rendszerben ábrázoljuk a 10. ábrán látható hurokgörbékhez hasonló jelleggörbét kapunk, az ábrán látható görbékét a Mindenki Kutatói és Kísérleti Központ munkatársai regisztrálták. Ezeket a zárójelentésükből vettük át. Harmonikus (szinuszos) lefolyású vizsgáló-függvény esetén ferde tengelyű ellipszist kapunk. Az erőket vetítő szögsebességgel (körfrekvenciával) forgóvektorokkal ábrázolva, az Fcs csillapító és az Fr –rugóerő közötti fázisszög keletkezik, (10.b ábra) tehát:

$$\frac{F_{cs}}{F_r} = \operatorname{tg} \delta$$

matematikailag kimutatható, hogy

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{c \omega}{k}$$

a maximális deformációs erő pedig

$$F_{\max} = a k \sqrt{1 + \left(\frac{c \omega}{k}\right)^2} - r a$$

adódik, vagyis nagyobb, mint az eredeti k-statisz érték és függ a mozgás frekvenciájától is.

A dinamikus

$$k_d = k \sqrt{1 + \left(\frac{c \omega}{k}\right)^2} - r a$$

adódik, tehát nagyobb mint a statikus k-érték és függ a mozgás frekvenciájától is, ezért a gumirugót a megadott rugóállandó alapján, alapos megfontolással kell megválasztani. A gumirugó fontos tulajdonsága a munkaemésztés, más szóval a csillapítás mértékének meghatározása. A gumirugó csillapító képességét a 10. ábrán vázolt erő-elmozdulás diagramokból a megfelelő területek planimetráálásával tudjuk meghatározni. A felemésztett munka a hiszterézis-görbe által határolt területtel arányos, amit a rugóban felhalmozott munkához kell viszonyítani.

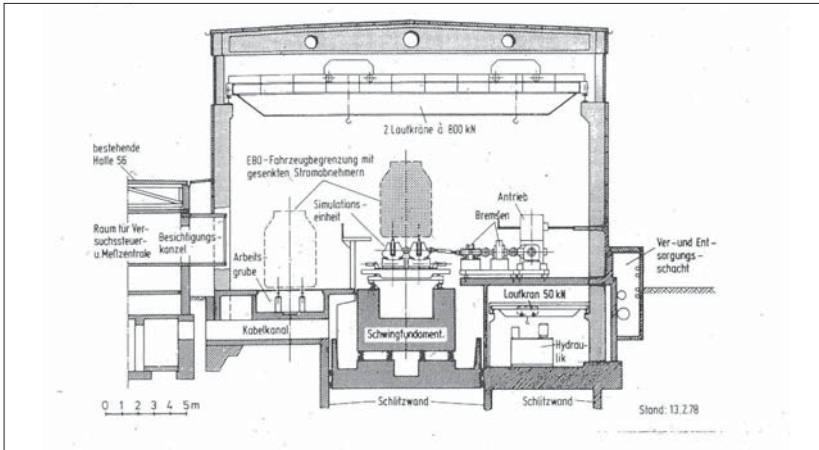
További különbség, hogy a BDV motorvonatok abroncsos kerékpárokkal, a GH 250-3 forgóváz pedig a nagysebességű közlekedés előírásainak megfelelően dinamikusan kiegyensúlyozott Z1-típusú kerékpárokkal vannak ellátva. A kerékprofil UIC S1002, a kerékpároknak Knorr-típusú féktárcsák vannak fel-

erősítve. A kerékpárok kétsoros kúpgörcsős csapágyakban vannak megvezetve. A forgóváz kerethez 400 mm hosszúságú terelőkarokkal csatlakoznak.

A primer rugózás a csapágy függőleges középvonalában helyezkedik el a terelő kar vége és a forgóvázkeret között. A terelőkar silentblokk közvetítésével csatlakozik a forgóváz kerethez, ez közvetíti a hossz- valamint a keresztirányú erőket. A silentblokk kialakítása cikkünk 1. részének 4. ábráján látható. A 4. és 10. ábrák alapján ismertetett GH 250 forgóvázcsalád előnye, hogy ugyanaz az alapkonstrukció bizonyos elemek cseréje, illetve megfelelő kiegészítések révén mind elővárosi, mind városközi változatban megvalósítható. Elővárosi változatban nincs szükség kigyózás-gátló lengéscsillapítóra, elegendő a gumielemelek belső csillapítása. Nincs szükség sínfékre, három féktárcsára, stb. A legtöbb szerkezeti elem, például a szekunder rugózásnál és a forgóváz/szekrény kapcsolatnál beépített rétegelt gumirugók a geometriai méretek szempontjából lehetnek azonosak. Üzemeltetési és járműjavítási szemponttal igen előnyös, ha a fenntartásnál azonos technológiát lehet alkalmazni. Ez lenne a hazai gyártás egyik előnye.

A Ganz-Hunslet először csak 1 db kísérleti forgóvázat épített. Az akkori pénzügyi nehézségeket jól jellemzi, hogy egy kocsiba beköthető forgóvázpár létrehozására már nem volt lehetőség. A kísérleti forgóváz megépítése így is meglehetősen elhúzódtott. Mint az előzőekben már rámutattunk, a forgóváz legtöbb alkatrésze BDV-villamos motorvonat 4. ábrán látható széria forgóváz alkatrészével megegyezett. Néhány új szerkezeti elem beszerzése, például kigyózás-gátló lengéscsillapítók, rétegelt gumirugók és silentblokkok importálása azonban elkerülhetetlen volt. Ezek beszerzése, majd a vám-költségek kifizetése is komoly pénzügyi nehézségeket okozott. A forgóváz összeszerelése gyakran hetekig szünetelt, mert a soron következő beépítendő alkatrészt a gyártó cég nem tudta a vám-raktárból kiváltani.

A gyár a kísérleti forgóvázat az 50 55 21 05 ° 103 sz. személykocsikba építet-



11. ábra: a DB görgős próbaberendezése

te be. Tehát a kísérleti kocsi kényszerűségből egy nagysebességű kísérleti forgóvázon és egy széria forgóvázon futott. Az utasterhelést a GH műterheléssel helyettesítette. Az így előkészített kocsit, a GH Rt. a DB München-Freimann-ba telepített próbaállomásra kiküldte nagysebességű vizsgálat céljából. A próbaállomás keresztmetszetét a 11. ábra szemlélteti. A berendezés révén azt igyekeztünk megállapítani, hogy a forgóvázal próbálkozhatunk-e nagysebességű vonati futástechnikai vizsgálatokra, továbbá hogyan fut a jármű a nagysebességre kiépített, illetve a hazai vasúti pályán. A berendezés alkalmas volt a pálya függőleges és keresztirányú, mért geometriai paraméterek alapján a pálya-egyenetlenségeinek szimulálására is, ezért a vizsgálandó járművel együtt a hazai pályaszakaszokon végzett geometriai méréseink adatait is kiküldtük, amelyeket a mérések során fel is használtak. A görgős próbapadon végzett vizsgálatokról a Bericht 161702/1991.06.08. sz. jelentésben számoltak be a München-Freidmann kísérleti intézet munkatársai. A görgős próbaberendezéseken végrehajtott mérések azt mutatták, hogy a kísérleti forgóvázal a nagysebességű vonati kísérleteket kockázat nélkül meg lehetett kezdeni.

Ezután a Ganz-Hunslet a második kísérleti nagysebességű forgóvázat is legyártotta, így a nagysebességű próbákat előkészítő próbák a hazai pályán megkezdődhettek. A sebesség azonban a próbamenetekre kijelölt vonalrészeken nem léphette túl a 160km/

h+10%=176km/h határ-sebességet. Az így megengedett sebesség a logikailag szóba jöhető variációs lehetőségek kipróbálása, a legjobbnak látszó megoldás kiválasztása megtörtént. A Ganz-Hunslet ezt követően küldte ki a kísérleti járművet a Deutsche Bahn Minden Kutatási és Kísérleti Központjába az UIC 518 döntvény szerinti próbák elvégzése céljából.

A vizsgálatra kijelölt vonalrészek a következők voltak:

1.DB-vonalrész: 1432 mm (szűkített) nyomtáv

1/40 sándölés
Fulda-Würzburg

2. FS-vonalrész: 1435 mm nyomtáv
1/20 sándölés
Anezzo Nord-Anieto

A vizsgálatokat a következő alapparaméterek meghatározása érdekében végezték:

1. Futásbiztonság:

- a pályatestre ható oldalirányú erők összege ($\sum Y_{2m}$)_{lim} melynek a vizsgált kocsira megengedett határértéke, a Prud'homme összefüggésből számítva:

$$(\sum Y_{2m})_{lim} = 47,6 \text{ kN}$$

- Siklasi együttható: $lim(Y/Q_{2m})=0,8$, ívsugár: $R>300 \text{ m}$ (ERRI C 138/RP9)

- Stabilitási kritérium (UIC 515): $\dot{y}+lim=8/ms^2$ melynek frekvencia-tartománya: 4-8 Hz, és amplitúdója legalább 6 lengés esetében túllépni a fenti értéket.

2. A pálya igénybevétele:

- Függőleges kerékerő: $Q_{lim}=170 \text{ kN}$

- Kvázistatikus vezetőerő pályáivben: $Y_{kstim} = 60kN$. Pályáiv tartomány: $250m \leq R < 600 \text{ m}$.

- Kvázistatikus kerékerő pályáivben: $Q_{stim} = 145kN$. Pályáiv tartomány: $250 \text{ m} \leq R < 600 \text{ m}$.

3. Futásjóság:

- a kocsiszekrényben keletkező oldalirányú és függőleges gyorsulás maximális amplitúdó:

$$\ddot{y}_{lim} = 2,5 \text{ m/s}^2$$

$$\ddot{z}_{lim} = 2,5 \text{ m/s}^2$$

RMS érték:

$$\ddot{S}_{ylim} = 0,5 \text{ m/s}^2$$

$$\ddot{S}_{zlim} = 0,5 \text{ m/s}^2$$

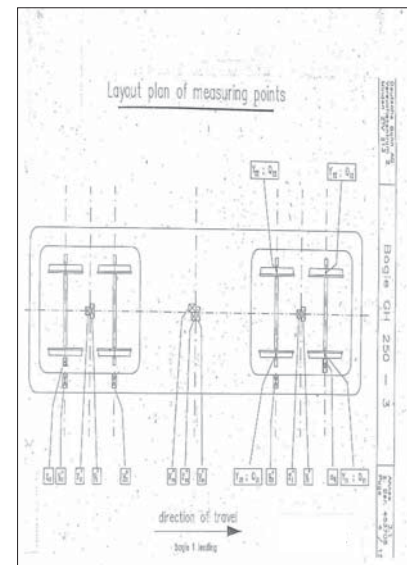
A vizsgálatokat az Intézet munkatársaival történt megállapodás alapján az alábbiakban felsorolt szerkezeti változásokra terjesztettük ki, ezek egy forgóvázra vonatkoznak:

A. Eredeti változat:

2 db kigyózásgátló lengéscsillapító
2 db keresztirányú lengéscsillapító

B. változat:

kigyózásgátló lengéscsillapító nélkül



12. ábra: a mérőhelyek és a mért mennyiségek

2 db keresztirányú lengéscsillapító

C. változat

kigyózásgátló lengéscsillapító nélkül
1 db keresztirányú lengéscsillapító (a keresztirányú csillapítás 50%-os csökkentése)

D. változat:

2 db kigyózásgátló lengéscsillapító

- 1 db keresztirányú lengéscsillapító
E. változat:
vezető forgóváz: 1db kigyózásgátló lengéscsillapító
1 db keresztirányú lengéscsillapító
F. változat mindkét forgóváz:
1 db kigyózásgátló lengéscsillapító
1 db keresztirányú lengéscsillapító

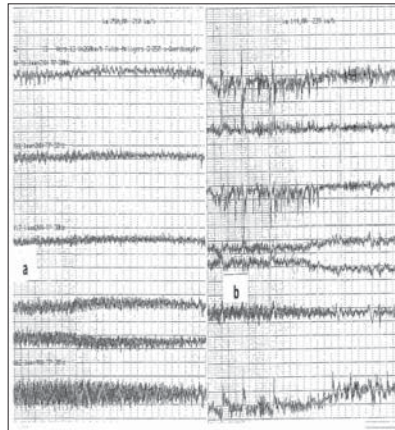
A mért mennyiségek fizikailag két csoportra – erőkre és gyorsulásokra – oszthatók. Az előbbieket elsősorban a futásbiztonság és a pályaigénybevétel, az utóbbiak pedig a futásjószág alakulásában játszanak szerepet. A mérőhelyek elrendezését és a mért paraméterek jelölését a 12. ábra szemlélteti. Tekintettel arra, hogy a futásstabilitás szempontjából főleg az oldalirányú (pályahossztengelyére merőleges) erők és gyorsulások mérvadóak, a próbamenetek során főleg ezeket a jellemzőket vizsgálták. Az oldalirányú erőket Y-nal, a függőlegeseket Q-val jelölik. Az oldalirányú gyorsulást \ddot{y} -t, a függőlegest \ddot{z} -jelöli. A forgóváz-gyorsulást + jellel, a szekrény-gyorsulást *-gal különböztették meg. A továbbiakban, valamennyi ábrán a fenti jelölések érvényesek.

Az Európában jellemzően kialakult kétféle felépítményi rendszernek megfelelően a vizsgálatokat is kétféle: az 1432 mm mérleges nyomtávú és 1/40 síndőlésű DB-pályán, valamint az 1435 mm nyomtávolságú és 1/20 síndőlésű FS-pályán hajtották végre.

A vizsgálatok eredményeiről a DB minden Kutatási és Kísérleti Intézet munkatársai a 453708 számú (1995.06.09.) jelentésükben számoltak be. A következőkben ismertetésre kerülő szemléltető diagram-részleteket ebből a jelentésből vettük át. A szemléltető diagramokat úgy állítottuk össze, hogy azok a mért anyag feldolgozásának és értékelésének menetét is tükrözzék. A vizsgálatok eredményeit tartalmazó diagramok a fenti tanulmányban három változatban találhatók:

A 13. és a 14. ábrákon a mért erő, illetve gyorsulás folyamatok alakulása látható a pálya hossz-szelvény függvényében. Az a-jelű ábrákon látható regisztrátumokat a DB-, a b-jelűeket pedig az FS-pályán regisztrálták. A mérőmenetek a DB-pályán max. 260

km/h sebességgel, az FS-pályán max. 240 km/h-val történtek. Az ábraszorozatot tanulmányozva jól megfigyelhető erő- és gyorsulás-folyamatok „véletlenszerű” lefolyása, ami azt jelenti, hogy a



13. ábra: Kerékerők/pálya hosszszelvény
a. DB pálya: regisztrált jellemzők (felülről – lefelé): SY1, Y11, Y12, Q11, Q12, SQ1
b. FS pálya: SY1, Y11, Y12, Q11, Q12, SQ1, SY2



14. ábra: DB pálya:
a. DB pálya: \ddot{y}_I^* , \ddot{y}_m^* , \ddot{y}_{II}^* , \ddot{z}_I^* , \ddot{z}_m^* , \ddot{z}_{II}^* , \ddot{x}_m^*
b. FS pálya: \ddot{y}_I^* , \ddot{y}_m^* , \ddot{y}_{II}^* , \ddot{z}_I^* , \ddot{z}_m^* , \ddot{z}_{II}^* , \ddot{x}_m^*

jármű lengő- mozgásait a pálya gerjeszti és a futás stabil, tehát nem „szinuszos” jellegű, mint amilyen cikkünk 1. részének 5.a ábráján látható. Megfigyelhető még, hogy az FS-pálya egy szakaszán, (egy pályaiívben) keletkezett, oldalirányú erők annak ellenére nagyobbak, hogy ezen a mérőszakaszon a menetsebesség kisebb volt, mint a DB-pályán. Feltehető, hogy az ívben a kvázistatikus oldalirányú erő és a dinamikus erők összeadódása következtében az oldalirányú felütési hézagok kimerültek és így felütések keletkeztek. Ezen problémákör vizsgálata céljából a méréseket

pályaiívekre (különböző túlemlés-hiány esetére), továbbá átmenetiívekre is kiterjesztették.

A fentiek is felhívják a figyelmet arra a fontos körülményre, hogy a járművek minősítését szolgáló futástechnikai mérések eredményeit a mérőszakasz minősége igen erőteljesen befolyásolja és ez szerencsétlen esetben félrevezető eredményre vezethet. A nehézséget főleg az okozza, hogy a vágányt geometriai paraméterekkel, a járművet viszont dinamikai jellemzőkkel (erőkkel és gyorsulásokkal) minősítjük. A pályageometria és a járműdinamika közötti összefüggések viszont igen bonyolultak és még nem minden tekintetben tisztáztak. A járműdinamikát nem csak a vágány geometriai paraméterei, hanem a pálya rugalmassága is befolyásolja. A pálya hossz-szelvénye mentén mindkét jellemző véletlenszerűen változik. Ezen a problémán úgy igyekeznek segíteni, hogy a mérésre kijelölt vonalrész – egyrészt jellege (egyenes, átmenetiív, pályaiív), másrészt, minősége szerint – elemi szakaszokra bontják, és az egyes elemi szakaszra vonatkozó statisztikai átlagértéket meghatározzák. Úgy tekinthetjük, hogy minden egyes elemi szakasz egy-egy jellegzetes pályarész, illetve minőséget reprezentál, és így – megfelelően hosszú mérővonalrész esetén – kiderül, hogy a jármű valamely jellegzetes pálya-jellemzőre miképpen reagál.

A DB Minden Kutatási és Kísérleti Központjának munkatársai a fentiekben röviden vázolt szempontok figyelembe vételével a mért jellemzők feldolgozására statisztikai módszert alkalmaztak. Ennek során a mérésre kijelölt vonalrész minden elemi szakaszára és valamennyi mért jellemzőre meghatározták.

- a matematikai átlagot és
- a szabványos eltérést (szórást)

a mérésre kijelölt vonalrész valamely elemi szakaszát Li-vel jelölve, az elemi szakaszra vonatkozó fenti statisztikai jellemzőket matematikailag a következő egyenletek szerint számíthatjuk: példaképpen valamely y-jellemzőre szorítkozva:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{L_i} \int_0^{L_i} y(x) dx$$

(az egyenletben x - a hosszkoordinátát jelenti) a fenti átlagérték egyenes vonalrészben általában zérusra, ívben és átmenetívben zérustól eltérő értékre adódik.

A másik fontos statisztikai jellemző: a szabványos eltérés, mely az y -változó \bar{y} átlagértéktől való eltéréseinek változási tartományát jellemzi. Értéke a következő összefüggéstől számítható.

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{L_i} \int_0^{L_i} [y(x) - \bar{y}]^2 dx}$$

A fenti egyenletből számított mennyiséget a műszaki szóhasználatban RMS-nek, vagy effektív-értéknek is nevezzük.

A valószínűségi számítás az $F(y)$ -eloszlás függvénnyel fejezi ki annak valószínűségét, hogy a valószínűségi változó valamely y -nál kisebb értéket vesz fel. Az $F(y)$ monoton növekvő függvény, (15.ábra) első deriváltja a

sűrűségfüggvény. A legismertebb: a normális, vagy Gauss-féle sűrűségfüggvény (haranggörbe) a gyakorlati mérés technikában ilyen, vagy hasonló jellegű empirikus sűrűségfüggvény-nyel gyakran találkozunk. A sűrűségfüggvény-görbe alatti terület a véletlen esemény bekövetkezésével arányos. Például annak valószínűsége, hogy az y mérési eredmény az y_1 és y_2 között helyezkedik el, a fenti ordinátákkal határolt görbe alatti területtel arányos. Ha a sűrűségfüggvényt $f(y)$ -nal, a valószínűségét is $p(y)$ -nal jelöljük, akkor a fentieket a következő határozott integrál fejezi ki:

$$p(y_1 < y \leq y_2) = \int_{y_1}^{y_2} f(y) dy = F(y_2) - F(y_1)$$

Természetesen a $f(y)$ sűrűség-függvénygörbe alatti terület – amely a biztos esemény bekövetkezését jelenti – egy-

ségnyi. Így a fenti határozott integrál értéke 0-1 között változik. A 15. ábra a normalizált Gauss-féle sűrűségfüggvényt ábrázolja, ez azt jelenti, hogy az eredeti y -változó helyett az

$$u = \frac{y - \bar{y}}{s}$$

A standardizált valószínűségi változóval számolunk. Elegendő tehát, ha a zérus átlagértékre és egységnyi szabványos eltérésre elkészített táblázatot használjuk, mert a vizsgált változóra vonatkozó értékek egyszerűen átszámíthatók.

Az előzőekben röviden körvonalazott matematikai módszerek lehetővé teszik, hogy a várható legnagyobb érték nagyságát az alábbi összefüggés szerint határozzuk meg:

$$y_{\max} = \bar{y} + ks$$

A k -tényező meghatározásához azt kell tudnunk, hogy mi a valószínűsége annak, hogy a vizsgált változó az $(\pm ks)$ tartományba esik. Ezt a 15. c ábrából leolvashatjuk:

k -tényező:

$$\pm 1 \quad \pm 2 \quad \pm 3$$

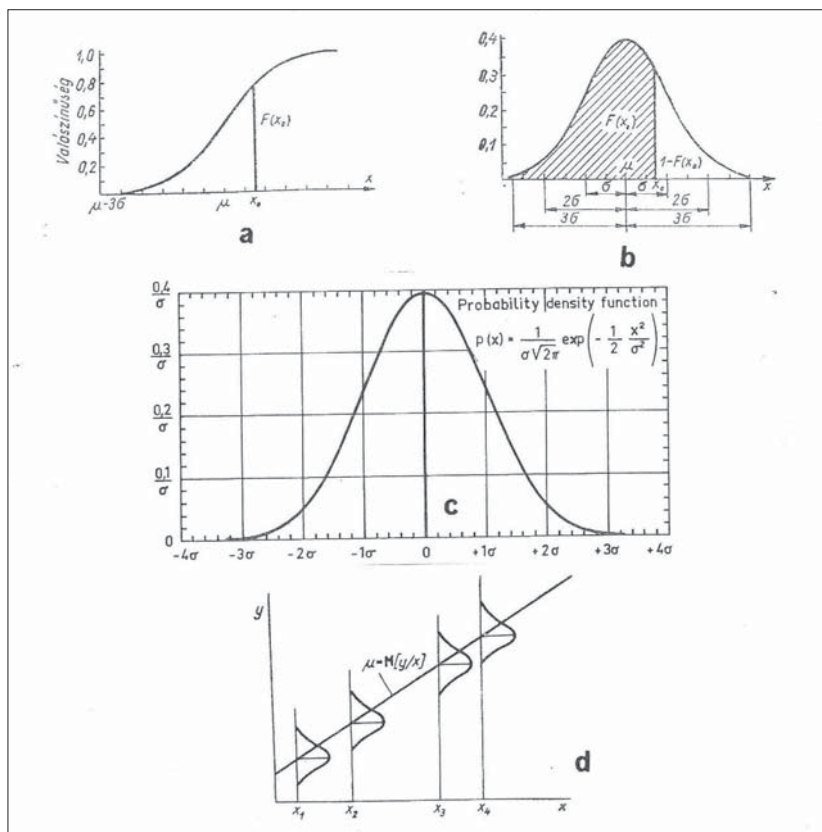
valószínűség:

$$68,28\% \quad 95,45\% \quad 99,85\%$$

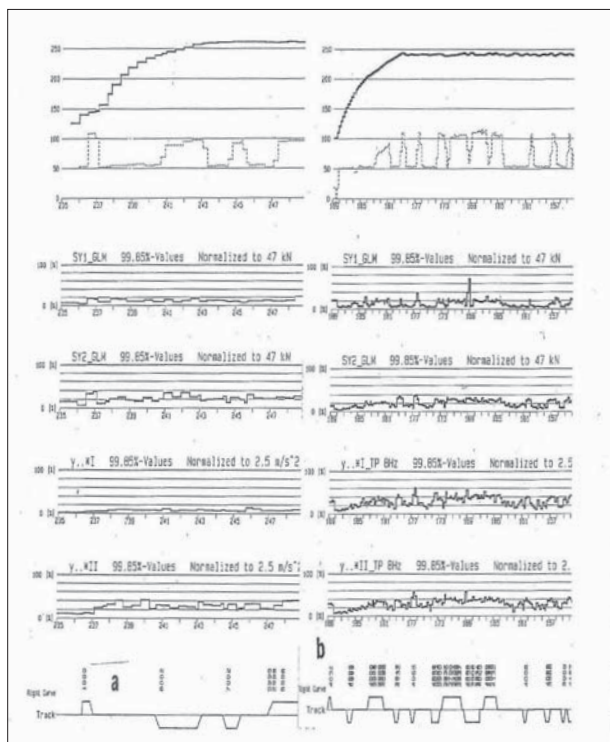
A 16-18 ábrákon a feldolgozási folyamat második lépcsőjének regisztrátumait tanulmányozhatjuk. A 16. a és b jelzésű diagramokon a következő jellemzőket regisztrálták a pálya-hosszszelvény függvényében:

- sebesség
- kvázistatikus oldalgyorsulás
- SY1 a sínzálakra ható oldalirányú erők összege a vezető kerékpárnál
- SY2 a sínzálakra ható oldalirányú erők összege a hátulfutó kerékpárnál
- \ddot{y}^* I. oldalirányú szekrény-gyorsulás a vezető forgóváz (forgócsap) fölött
- \ddot{y}^* II. oldalirányú szekrény-gyorsulás a hátulfutó forgóváz fölött.
- pályáívek.

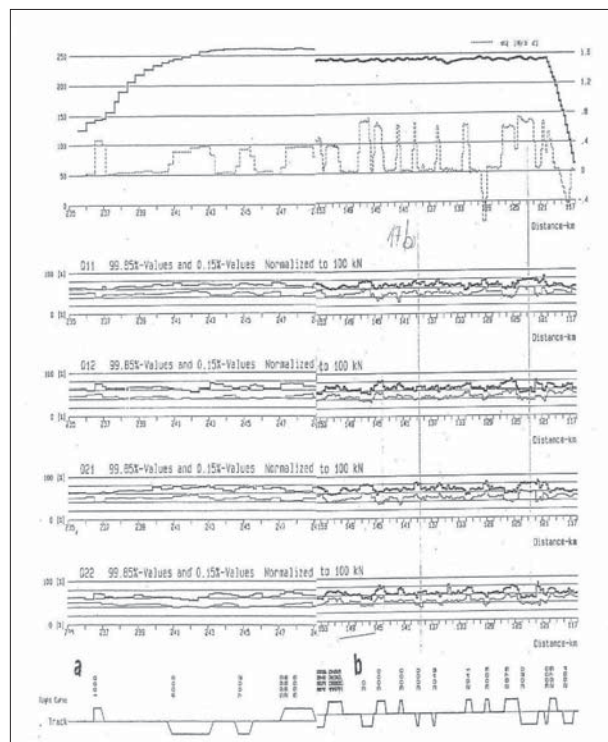
Az SY(ΣY) a kerékpár csapágyázásánál fellépő H_y axiális erőt és a kerékpár oldalirányú mozgásából származó tehetetlenségi erőt közvetíti a pályára.



15. ábra: a mért adatok feldolgozása. Statisztikai alapok.
 a. véletlenszerű folyamat amplitúdó-eloszlás függvénye
 b. normál (Gauss) eloszlás sűrűség- és eloszlás-függvénye
 c. normalizált Gauss-sűrűség függvénye
 a. lineáris regresszió elve



16. ábra: oldalirányú erők és gyorsulások effektív értékei (normalizálás: +3S)
 a. DB pálya: $V/a_q, SY_1, SY_2, \dot{y}_1^*, \dot{y}_2^*$ pályaivek
 b. FS pálya: 16. a -val azonos jellemzők



17. ábra: Függetlenes kerékek effektív értékei
 a. DB pálya: $V/a_q, Q_{11}, Q_{12}, Q_{21}, Q_{22}$ pályaivek
 b. FS pálya: 17. a -val azonos jellemzők

A bal- és jobboldali sínszalakra ható Y_1, Y_2 -oldalirányú erők eredője (ΣY) ellenében, a zúzottkő ágyazat és a keresztaljak közötti súrlódó erők tartják helyén a pályát. Jelöljük ezt az erőt S -el, akkor felírhatjuk az alábbi egyenletet:

$$S = Y_1 + Y_2 = H_y + (-m_k \ddot{y})$$

mint fentebb megjegyeztük a vágányt oldalirányban az S -súrlódási erő tartja a helyén. A maradó deformáció határértékét Prud'homme empirikus formulája fejezi ki:

$$H_y(2m) < \alpha(10 + \frac{Q_1 + Q_2}{3})kN$$

A vágányromlás szempontjából tehát az SY -eredő erőnek igen nagy jelentősége van, mivel a vágány első maradó oldalirányú deformációjával megkezdődik a vágány fokozott romlása. (Ezzel kapcsolatban ismételt emlékeztetünk az 1. rész 1.e ábrájára.) A Prud'homme kritérium a kerékpár tehetetlenségét kifejező -erőt elhanyagolja, (ezt a biztonsági tényezővel pótolja), a zárójelben szereplő (2 m) azt fejezi ki, hogy a kritikus H_y -erő-

nek legalább 2 m hosszan kell hatni, hogy a vágány oldalirányúdeformációja bekövetkezzék. Az α -tényezőt korszerű építésű vágány esetén 0,85-re veszik fel.

A kísérleti járműre a Prud'homme-erő 47 kN-ra adódott. A mérési eredményeket ennek százalékában fejezték ki, a diagramon minden vízszintes vonal 20%-ot jelent. A diagram jól mutatja az egyes elemi szakaszok közötti minőségi különbséget, így kifejezésre jut a mérés reprezentatív jellege. Különösen az FS pályán láthatunk néhány kiugróan kedvezőtlen elemi szakaszt. A 99,85% valószínűséghez tartozó: érték azonban ezekben a szakaszokban sem haladja meg a megengedhető érték 70%-át, a DB-vonalrészén a legkedvezőtlenebb esetben is 40% adott marad.

A vágány oldalirányú ellenállása szempontjából a Q -függetlenes kerékek előnyös, a vágány kifáradása szempontjából viszont hátrányos. A vágányra ható függetlenes irányú terhelések a statikus kerékterhelésből és az arra szuperponálódó váltakozó irá-

nyú, (növekvő, csökkenő) dinamikus erőből tevődik össze:

$$Q(x) = Q_{stat} \pm Q_{din}$$

A Q_{din} - dinamikus kerékerő két részből: a rugózatlan és a rugózott tömegeken jelentkező tehetetlenségi erőkből tevődik össze. A rugózatlan tömegeket a kerékpárok és az azokra erősített szerelvények jelentik. Ezek tömegét a járműtervezők nem tudják lényegesen befolyásolni. A függetlenes kerékerő dinamikus összetevője a forgóváza beépített rugórendszer kialakításával befolyásolható.

A 17. ábrán a forgóváz vezető kerekeinél jelentkező Q_{11}, Q_{12} függetlenes dinamikus kerékerők láthatók a pálya-hossz- szelvény függvényében. A diagramokon, az előzőekhez hasonlóan a normalizált érték 20, 40... 100%-a a vízszintes vonalakkal van bejelölve. Ezekon a diagramokon mind a 99,85%, mind a 0,15% valószínűséghez tartozó értékeket feltüntették. A maximális érték a vágány, főleg a sínszalak kifáradása szempontjából, a minimális érték viszont siklási szempontból mérvadó. A túlságosan

nagy Q-erő a sínzálakban meg nem engedhető hajlító, a sínfejen pedig túlzottan nagy nyíró igénybevételt okozhat. A Q-erő hatására a keresztalakban eredő hajlító feszültség és a sín talpán fellépő felületi nyomás túlzott mértékben megemelkedhet. Ezek sem haladhatják meg az adott keresztalj típusra megengedett határt. A Q erő túlzott mértékű lecsökkenése pedig – a vágányban jelentkező ún. síktorzulásokban – siklási veszélyt okozhat. A diagramokon látható maximális értékek – az előzőekben röviden körvonalazott matematikai statisztika elveknek megfelelően – $(\bar{Q} + 3s)$ -nek, a minimális értékek pedig a $(\bar{Q} - 3s)$ -nek felelnek meg. A maximális érték az előírások szerint 170 kN lehet, ezzel szemben – mint a diagramokból látható – 80 kN alatt helyezkedik el. A függőleges kerékerő dinamikus része – a max. és min értékek közötti különbség 25 kN alatt marad.

Az eddigiekben röviden ismertett vizsgálatok a futásbiztonságra és a pálya igénybevételre vonatkoztak, a mérések azonban a – hazai szóhaszná-

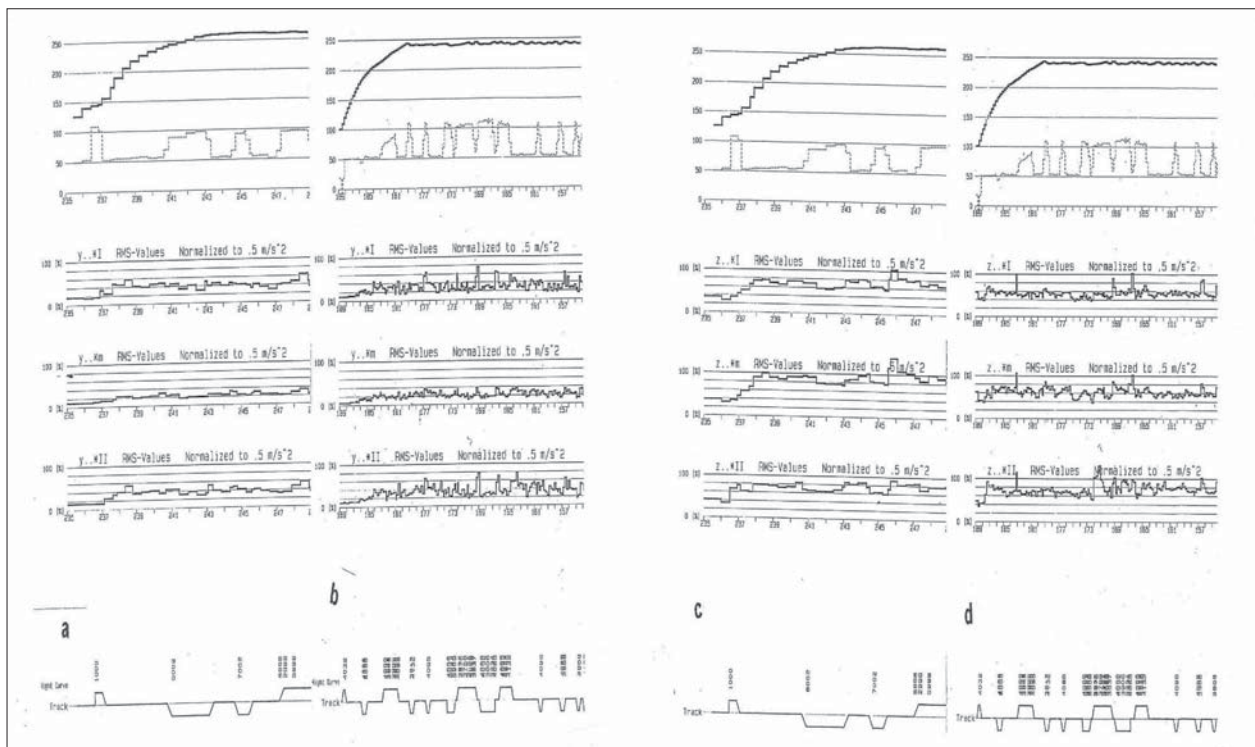
lattal élve – a futásjóság vizsgálatára is kiterjedtek. Erről elsősorban a kocsiszekrényben ébredő függőleges és oldalirányú gyorsulások mérése révén nyerhetünk információt.

A járműszekrényben mérhető gyorsulás folyamatok feldolgozása során régebben általában a jel amplitúdó csúcserőértékét, újabban az RMS-értékét, másnéven a standard szórását veszik alapul. Az oldalirányú gyorsulás-folyamatokból számított RMS-értékeket láthatjuk a 18.a ábrán a pálya hosszszelvény függvényében. A gyorsulás folyamatokat a vezető forgóváz elméleti forgóvázpontjai fölött mérték. Rátekintéssel megállapítható, hogy a maximális, $(\bar{y}^* + 3s)$ gyorsulás - a DB-vonalon - a megengedett érték 60%-a alatt helyezkedik el. Az FS-vonalon az ingadozás nagyobb, de itt sem lépi túl a megengedett érték 80%-át. (Egy kiugró érték látható a fékezés kezdete előtt, a jel-impulzusszerű jellegéből azonban úgy tűnik, hogy az feltehetőleg regisztrációs hiba.) A 18. b. ábrán a gyorsulás folyamat amplitúdó maximumainak eloszlását tanul-

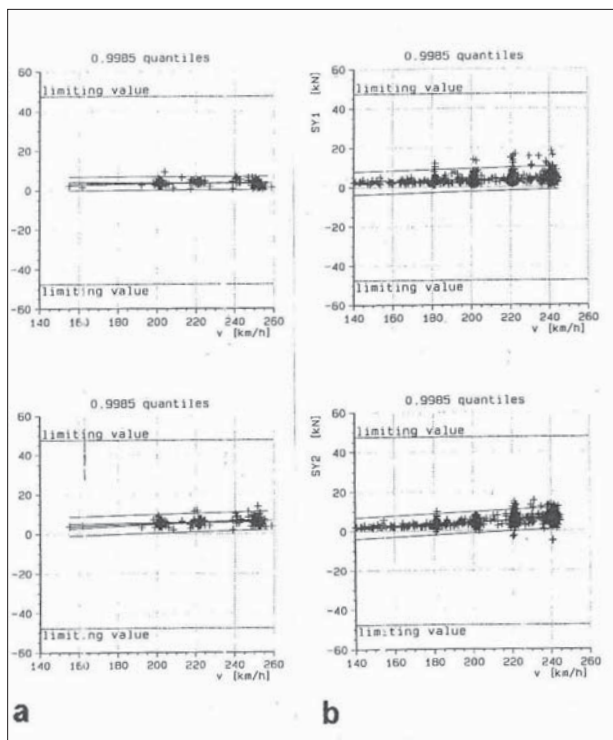
mányozhatjuk. Mivel ez a statisztika az amplitúdók eloszlásának szélső-értékeire (csúcserőértékeire) vonatkozik, a megengedhető értéket is magasabbra helyezték; így ezt az előbbi 0,5 m/s² helyett, 2,5 m/s²-ban határozzák meg az UIC-döntvények, illetve EN-előírások.

Az eddigiekben ismertett vizsgálatok az elemi szakaszokra felosztott vonalrész hossz-szelvény mentén rögzítik az egyes jellemzők alakulását. Egyértelműen megállapítható, hogy a GH 250-3 típusú forgóváz 250 km/h sebességgel a nagysebességre kiépített pályán kifogástalan futási tulajdonságokkal rendelkezik.

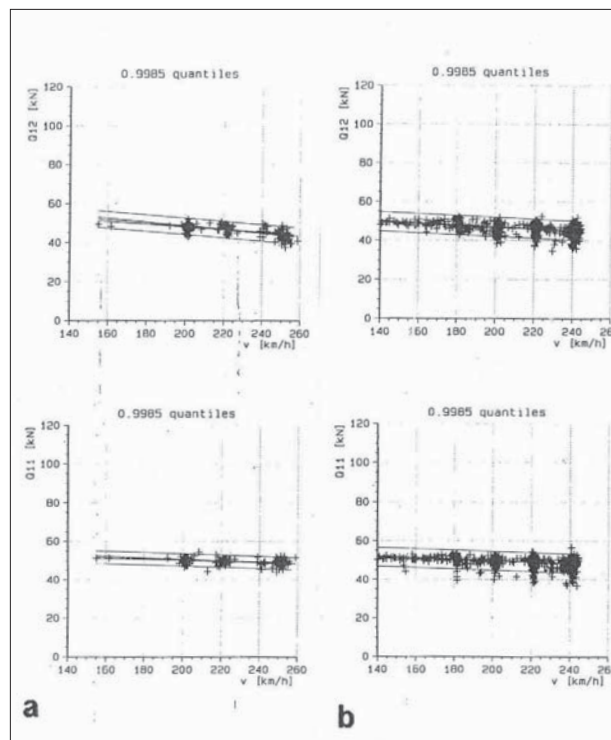
Hátra van még annak elemzése, hogyan függenek a legfontosabb paraméterek a menetsebességtől és pályáívekben az ún. túlelemelés-hiány következtében fellépő oldalgyorsulástól (amit az átlagos dinamikus mozgásokhoz képest lassú lefolyása miatt kvázistatikus oldalgyorsulásnak is nevezhetünk). A vonatkozó UIC döntvény és az EN ezen összefüggések feltárására szintén matematikai statisztika



18. ábra: Függőleges és oldalirányú jellemzők effektív értékei
 a., b. DB pálya, FS pálya: \bar{y}_k^* , \bar{y}_m^* , \bar{y}_{kl}^*
 c., d. DB pálya, FS pálya: \bar{z}_l , \bar{z}_m , \bar{z}_{ll}



19. ábra: Pályatestre ható oldalirányú erők a sebesség függvényében
 a. DB pálya
 b. FS pálya



20. ábra: Függőleges kerékerő a sebesség függvényében
 a. DB pálya
 b. FS pálya

tikai eljárást, ún. regresszió-számítást alkalmaz. A számítás elvét a 15.dábra szemlélteti. A két jellemző közötti kapcsolatot a regressziós egyenes, esetleg görbe fejezi ki, amelyet úgy kapunk, hogy a vizsgált jellemző matematikai átlagértékeit sorjában összekötjük, melyek körül a vizsgált jellemző értékhalmaza véletlenszerűen helyezkedik el. A véletlenszerűséget főleg a vágány geometriai egyenetlenségei okozzák, melyek a jármű lengőmozgásait gerjesztik és így a járművön jelentkező erők- és gyorsulások aktuálisan mérhető értékeit módosíthatják.

A 19. ábrán a pályatestre ható (SY) oldalirányú erő alakulását láthatjuk a sebesség függvényében, az a-jelű ábrán a DB pályán 260 km/h, a b-jelűn pedig az FS pályán 240 km/h sebességig. Megállapíthatjuk, hogy a mért oldalirányú erők jelentős mértékben a megengedett határérték alatt maradnak. Egyenes vágányon az SY erő akkor növekedne a megengedett határérték közelébe vagy fölé, ha a jármű futása instabil lenne. A mért eredmények tehát ismét bizonyítják a jármű stabil futását 260 km/h sebessé-

gig. A forgóváz stabil futásának tehát újabb bizonyítékát látjuk. Megfigyelhetjük azt is, hogy a dinamikus változás sem nagy (alsó és felső határval), ami azt jelenti, hogy a forgóváz a vágány egyenetlenségeire sem túlzottan érzékeny, amint azt az eddigiekből is láthatjuk.

Hasonló megállapításokat tehetünk a 20. ábrán szemléltethető függőleges kerékerőkkel kapcsolatban is. Dinamikájuk a sebesség növekedésének hatására lényegesen nem változik.

A 21. ábrán az Y/Q oldalirányú és a függőleges erők hányadosa látható a DB pályán: 450-650 m, 650-1000 m és 1000-2000 m ívsugarú, valamint a FS, 2875-4385 m sugarú ívek esetében, a regressziós kapcsolat független változója a túlemelés hiánya, illetve az ebből számított aq oldalgyorsulás. Ezek értékei is messze a megengedett határérték alatt helyezkednek el.

Az eddigiekben a teljességre nem törekedve, a lényegesebb mérésekre, illetve azok eredményeinek rövid elemzésére térünk ki. A következőkben az elvégzett vizsgálatok teljes programját összefoglaljuk:

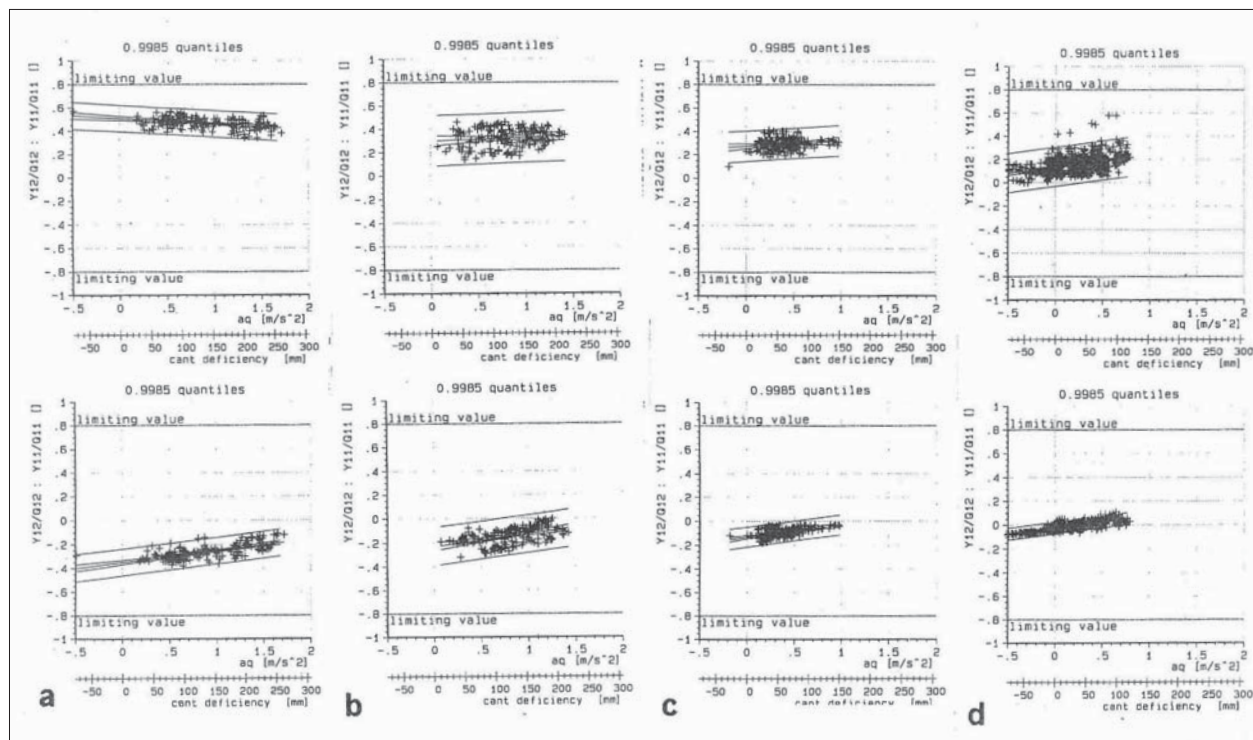
A vizsgálatok első részében a járművet A-F variációban mérték, melynek eredményeképpen a keresztirányú lengéscsillapítás mértéket 50%-kal csökkentettük (D variáció), majd vizsgálatok ezzel a változattal folytatódtak, melyeket két fő részre: statikus és vonali szakaszra bonthatunk:

Statikus vizsgálatok

- kerék/sín kontakt-geometria 1:40 és 1:20 síndőlés esetén,
- szekrény/forgóváz-elfordulási nyomtatók,
- ívbeállási erők kissugarú (R=150 m, túlemelés: 0) ívben,

Vonali futópróbák

- kerékpár-vezető erők: Y, ΣY (SY)
- függőleges kerékerők: Q
- forgóváz kereten ébredő oldalirányú gyorsulások $\ddot{y}+$
- kocsiszekrényben keletkező oldalirányú és függőleges gyorsulások: \ddot{y}^* , \ddot{z}^*
- $330 \leq R \leq 2000m$ sugarú ívben, $150 \leq u \leq 270mm$ túlemelés hiány esetén keletkező kvázi-statisztikus oldalgyorsulás: a_q
- Nadal-formula szerinti futásbiztonsági mérőszám: Y/Q



20. ábra Nadal-féle siklási tényező a kvázistatikus oldalgyorsulás, illetve a túlemelés hiány függvényében
 a, b DB - pálya
 c, d FS - pálya

A DB Mindenki Kutatási és Kísérleti Központjának munkatársai az elvégzett vizsgálatok végeredményeit – a vonatkozó UIC Döntvényekben, illetve jelentésükben idézett szabványokban rögzített-határértékekkel összevetve minden esetben megállapították, hogy a vizsgált jellemzők nem lépték túl, illetve nem érték el a megengedett határértékeket. A végeredményt a következőkben foglalták össze:

„A jelen dokumentum alapján a Bmx 50 55 21-05 103-5 psz. magyar személykocsiba beépített, DIN 5573 sz. szabvány (ORE S1002) szerint kialakított kerékprofilú GH 250-3 forgóvázat az UIC 518 döntvény szerint:

- a futásbiztonságra
- a pálya igénybevételére és
- a futásjóságra

megvizsgálva valamennyi, a fenti kocsin mért eredmények – mind a maximális sebességnél, mind a maximális, kiegyenlített kvázistatikus oldalgyorsulásnál teljesíti a statisztikai próba szerinti feltételeket.

Valamelyik kigyózásgátló lengés-csillapító esetleges hiánya nem

okozta a jármű instabil futását egyetlen alkalommal sem.”

A futástechnikai vizsgálatok tehát, melyeket a DB Mindenki Kutatási és Kísérleti Központjának munkatársai – Dr. Dolezel és Löffler urak vezetésével – igen magas színvonalon végeztek, sikerrel zárultak. A vizsgálatok eredményeképpen azonban nem tudjuk megmondani, hogy a forgóváz végül is milyen maximális sebességre alkalmas, mivel óvatosságból a szerződésben 250 km/h maximális vizsgálati sebességet kötöttünk ki, melyet helyszíni megbeszéléssel 260 km/h-ra tudtunk módosítani. Ennél a sebességnél keletkezett eredmények azonban arra utalnak, hogy a forgóváz lényegesen nagyobb sebességre is alkalmas. Ezzel kapcsolatban kiegészítő vizsgálatok – finanszírozási okokból – nem történtek.

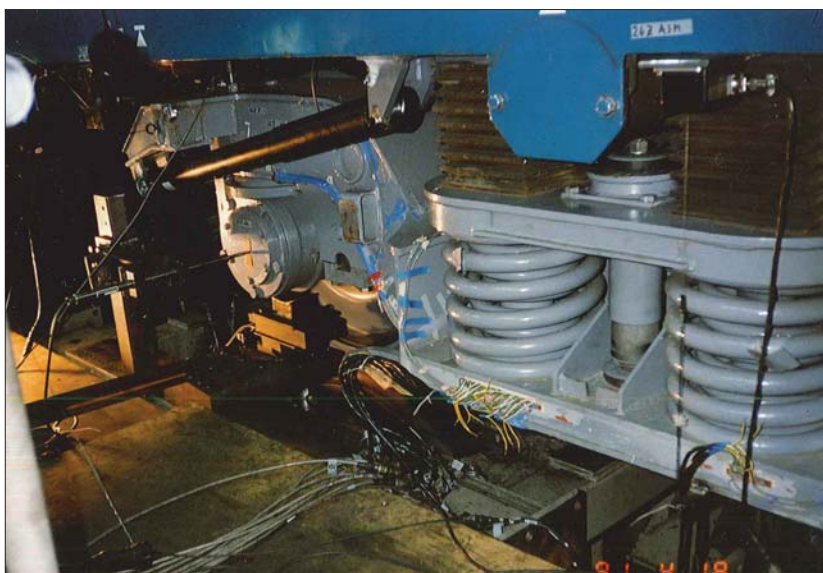
A nagysebességű forgóváz létrehozására irányuló munka azért volt eredményes, mert sikerült megnyerni néhány szakembert, akik tulajdonképpen önkéntes alapon vállalták egy-egy részfeladat megoldását. Szinte lehet-

tetlen az együttműködésben résztvállaló valamennyi szakember nevét felsorolni, ezért elégedjünk meg azok megnevezésével, akik a munkában legközvetlenebbül részt vettek. A tervezési munka elsősorban Dian József, Kiss Béla és Schramm Gyula nevéhez fűződik. A futásstabilitással, futástechnikával összefüggő számításokat elsősorban Andorfy Ottó, Dr. Oroszváry László, Dr. Simonyi Alfréd, Tfirst Gyula, Dr. Zobory István és tanszékének munkatársai végezték. A hazai pályákon végzett futástechnikai vizsgálatokat Farkas László és Varga Jenő vezetésével hajtották végre. A Ganz-Hunslet Igazgatósága részéről Harry A. Cood, Kostyál István és Kiss József, a MÁV Vezérgazgatóság részéről Kisteleki Mihály támogatta nagysebességű forgóváz létrehozására irányuló munkát.

Ismételten hangsúlyozzuk, hogy a fentiekben felsoroltakon kívül még számos kiváló szakember járult hozzá munkájával és más segítséggel a hazai vasútépítész szakma igen jelentős – reméljük nem utolsó – sikeréhez.



22. ábra: A Bmx 50 55 21-05 103-5 pszú kocsi Münchenben



23. ábra: A mérésre előkészített kocsi részlete



24. ábra: A kerék/sín relatív helyzete

Szakirodalom

1. Béres István – Varga Jenő: Tapasztalatok a vasúti járművek kigyózási stabilitására, Vasúti Tudományos Kutató Intézet (VTKI) Évkönyve 1975.
2. Varga Jenő – Béres István: Szoros kerékpár vezetésű négytengelyes vasúti jármű futásstabilitása, VTKI Évkönyve 1979.
3. Varga Jenő – Béres István: Jármű futóművek diagnosztikai vizsgálata futástechnikai követelmények alapján, VTKI Évkönyve 1981.
4. Andorfy Ottó – Dr. Simonyi Alfréd: A vasúti kerék-sín érintkezési geometriája, VTKI Évkönyve 1986, 87.
5. Dr. Oroszváry László – Riikka Johanna Jahtinen: Négytengelyes vasúti kocsik futásstabilitása, VTKI Évkönyve 1988.
6. Dr. Benedek Teofil: Kapcsolati erők a kerék és a sín között, MÁV Rt. Fejlesztési és Kísérleti Intézet (MÁV RT. FKI) Évkönyve 1991-1993.
7. Dr. Oroszváry László – Andorfy Ottó: Vasúti járművek kigyózásgátló rendszerének hatása a jármű kritikus sebességére, FKI Évkönyve 1991-1993.
8. Tfirst Gyula: A Ganz-Hunslet Rt. forgóvázainak speciális lengéstanai vonatkozásai, FKI Évkönyve 1991-1993.
9. Dr. Megyeri Jenő – Dr. Szeidl László – Dr. Zobory István: A vasúti pálya alrendszer a pályajármű rendszerben, Közlekedéstudományi Szemle 1996/7
10. DB Bundesbahn-Zentralamt München (görgös próbaállomás) jelentése a GH 250-3 típ. forgóváz vizsgálatáról, 1991. 06. 06. (kézirat)
11. DB Minden Kutatási és Kísérleti Központ jelentése a GH 250-3 típ. forgóváz vizsgálatáról, 1995. 06. 09. (kézirat)
12. MÁV Rt. FKI jelentése a GH 250-3 típ. személykocsi forgóváz futásdinamikai vizsgálatáról, 1994. (kézirat)