

A SZENT ISTVÁN TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
SZÉKFOGLALÓ ELŐADÁSAI  
Új Folyam. 6. szám  
Szerkeszti: STIRLING JÁNOS OESSH főtitkár

---

HELLER GYÖRGY

VONATOK MOZGÁSI  
JELENSÉGEINEK  
VIZSGÁLATA,  
KÜLÖNÖS TEKINTETTEL  
A FÉKEZÉS IDŐSZAKÁRA



BUDAPEST 2004



A SZENT ISTVÁN TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
SZÉKFOGLALÓ ELŐADÁSAI  
Új Folyam. 6. szám  
Szerkeszti: STIRLING JÁNOS OESSH főtitkár

---

HELLER GYÖRGY

VONATOK MOZGÁSI  
JELENSÉGEINEK  
VIZSGÁLATA,  
KÜLÖNÖS TEKINTETTEL  
A FÉKEZÉS IDŐSZAKÁRA

*Elhangzott 2004 november 5-én a Szent István Társulat régi  
székházának dísztermében*



BUDAPEST 2004

*Minden jog fenntartva,  
beleértve a bárminemű eljárással  
való sokszorosítás jogát is*

© HELLER GYÖRGY 2004

KÉSZÜLT A SZENT ISTVÁN TÁRSULAT,  
AZ APOSTOLI SZENTSZÉK KÖNYVKIADÓJA NYOMDÁJÁBAN.  
IGAZGATÓ: FARKAS OLIVÉR OESSH  
BUDAPEST, V. KOSSUTH LAJOS U. 1.

HELLER GYÖRGY

VONATOK MOZGÁSI  
JELENSÉGEINEK VIZSGÁLATA,  
KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A  
FÉKEZÉS IDŐSZAKÁRA

**1. A problémakör lényegének körülhatárolása**

Amikor Richard Trevithick 1804-ben – éppen 200 évvel ezelőtt – saját építésű gőzmozdonyával egy skóciai angol kohászati üzem, egyébként természetesen még lóvontatásra berendezett sínpályáján egy bemutató alkalmával 5 kocsin összesen 10 t terhelést és 70 utast 4 óra 5 perc menetidővel továbbított 15 km távolságra, majd pedig négy évvel később második mozdonyával Londonban egy cirkuszi attrakció számára épített kis körpályán 1 shilling belépti díjért szállította a nagyérdemű közönséget, valószínűleg saját maga sem tudta volna elképzelni, hogy a 19. század végére az akkor még mindig gőzvontatású vasutak egykor nemcsak az egész földgömböt fogják behálózni, hanem Földünk egész életét is forradalmasítják. Jóllehet azóta a gépkocsi és a repülőgép erősen megtépázták a vasútnak, mint közlekedési és szállítóeszköznek a babérjait, de azért napjainkban is összeomlana nemcsak az egész közlekedési és szállítási rendszer, hanem a teljes gazdasági élet, ha a vasutak hirtelen megszűnnének létezni.

A következőkben a vasutat – mint közlekedési és szállítási eszközt – mindenekelőtt a műszaki szakember sajátos szemszögéből nézve olyan objektumként kívánom jellemezni, mely a fizika és a mechanika törvényszerűségeinek van alávetve. Vizsgálatainkat a mechanika egy különleges ágának: a kinetikának az alapján kezdjük. A **kinetika** – mint ismeretes – az erők mű-

ködése nyomán lejátszódó mozgásjelenségeket vizsgálja, és vizsgálatait az **erő**, az **idő** valamint a **tömeg** és a **tér** fogalmaira építi. Ezekből a fogalmakból azután további olyan – számunkra is jelentős – fogalmak származtathatóak, mint a **sebesség**, a **gyorsulás**, a **munka**, a **teljesítmény**, az **energia** és annak **különböző fajtái**.

Annak érdekében, hogy egy adott tömegű vonat adott vonalon, adott menetidővel legyen továbbítható, adott **s** távolságon bizonyos **v** sebességre kell, hogy felgyorsuljon. Ennek lehetővé tétele természetesen a **vontatójármű** feladata. A vonat gyorsításának időszakában a vontatójárműnek a vizsgált időszak alatt is általában változó  $F_v$  vonóereje a gyorsításhoz tartozó **s** uton első közelítésben

$$L = \int F_v ds$$

munkát végez, miközben a pillanatnyi sebességeknek megfelelően változó

$$N_v = F_v v$$

pillanatnyi **teljesítményeket** fejt ki, melyek hatására a vonat **M tömegével** lineárisan, **v sebességével** pedig négyzetesen arányos

$$E = c \cdot \frac{M \cdot v^2}{2}$$

**mozgási energia halmozódik fel**, ahol **c** a jármű forgó tömegeiben felhalmozódó többlet energiára való tekintettel alkalmazandó korrekciós tényező. Ennek az energiának a mennyiségét másodlagos mértékben befolyásolják a vonat járműveinek járműellenállása, valamint az esetleges pályaemelkedők, ill. lejtők. Ha a vonat megállítására, vagy esetleges sebességcsökkentésére, illetve lejtőn történő sebességszabályozására van szükség, akkor a vonatban az adott időpontig felhalmozott mozgási

vagy (esetleg) helyzeti energiát is részben vagy teljesen el kell vonni. Ebben a folyamatban van orozslánrésze a vizsgálandó vonat **fékrendszerének**.

Alapvető fontosságú felismerésre jutottunk tehát: **a vonatnak nemcsak vontatójárműre, hanem megfelelő fékezési lehetőséget biztosító fékrendszerre is szüksége van.**

A vasutak csecsemőkorában és még azután is egy ideig a gondok középpontjában a vontatójármű vagyis a teljesítmény kifejtésének a problémája állt; hiszen a vonatok csigalassúsággal közlekedtek, és még a személy forgalomban évtizedekkel később is legfőljebb elvétve fordult elő 60 km/h-nál nagyobb sebesség. A vonatok általában egymástól legalább állomástávolságnyi közökben közlekedhettek, de legrosszabb esetben is csak bőséges időtávolságra engedélyezték a követő vonat indulását. A csekély menetsebességek következményeképpen elegendő volt a kocsiknak csak egy kisebb hányadát (felét - harmadát) kézifékkal felszerelni. Minthogy azonban az orsós kézifékekben alkalmazott erőtöbbszöröző rudazat a fékező emberi erejének több százszoros megsokszorozására is képes volt, továbbá a vonatfékezők alkalmazása is nagy költségterhet jelentett, azért az esetek túlnyomó részében - elsősorban tehervonatoknál - az is elég volt, ha a vonat kocsiainak 6 - 15 %-án volt valóban kezelt kézifék.

E kis kitérő után azonban térjünk vissza eredeti célkitűzésünkhöz: a közlekedő vonat jelenségeinek fizikai és műszaki szempontból történő vizsgálatához.

**A közlekedő vonatban felhalmozódó mozgási energia** valamilyen energiahordozóból származik.

- **Gőzmozdonyok esetén** az energiahordozót (szén, fát vagy akár olajat, esetleg pakurát) elégetve a vontatójármű kazánjában gőzt fejlesztenek, mely által a gőzgép munkát végez és az így működő, a vonat tömegére ható erő gyorsítja a vonatot.
- **Motoros mozdony esetében** a közvetlenül a hajtómotorban elégetett folyékony üzemanyag hatására fejt ki a motor tel-

jesítményt, mely valamiféle (mechanikus, hidraulikus vagy villamos) erőátvitel közvetítésével a vonattovábbításra alkalmas vonóerő kifejtésére képes, ez viszont a vonat tehetetlen tömege ellenében munkát végezve abba mozgási energiát táplál.

- **Villamos vontatás esetén** a központi erőműben előállított energia a felsővezetéken keresztül elektromos áramként már szinte készen érkezik, és azt általában csak a mozdonyon belül alakítják át az illető mozdony hajtóművének megfelelő áram-paraméterekre.

A vonatra kifejtett vonóerő hatására tehát a vonat fokozatosan felgyorsul. Ha eközben a vonat emelkedőn vagy lejtőn halad, akkor lejtőn a vonat helyzeti energiája emiatt növekszik vagy csökken, mert annak egy része helyzeti vagy mozgási energiává alakul.

Ezek az energia folyamatok úgy játszódnak le, hogy a keletkező mozgási energiából a vonat minden egyes járműve a saját tömege a vonat teljes tömegéhez viszonyított hányadának megfelelően részesedik. Ebben az időszakban tehát a vonat – legalábbis első közelítésben – egyetlen, mondhatni homogén tömegként viselkedik, és az energia felhalmozódási folyamat voltaképpen a vonat összes járművei között az egyes járművek  $m_{ji}$  tömegének a vonat összes  $M$  tömegéhez viszonyított arányának megfelelő megosztásban megy végbe. Ez az energiaelosztási folyamat tehát optimális és önműködően történik. Ezt azért érdemes itt hangsúlyozni, mert – mint a későbbiekben látni fogjuk – a fékezés időszakában távolról sem ilyen kedvező a helyzet.

Az elmondottak alapján érthető, hogy a gőzvontatás egyeduralmának mintegy évszázados uralma idején a fejlesztési erőfeszítések döntő mértékben a vontatójárművek vonóerő kifejtő képességének és kazánteljesítményének a növelését célozták, tehát arra irányultak, hogy mennél nagyobb mennyiségű energiát lehessen a lehetséges legrövidebb idő alatt a vonatba „betáplálni”.



Alapvetően más a helyzet a **fékezés időszakában**. Ebben az időszakban ugyanis a **vonatban működő fékezőerők passzív erők**, melyeknek létrehozására – legalábbis elméletben – **teljesítmény kifejtése nem szükséges**, hiszen ilyenkor a munkát nem a fékezőerő, hanem annak ellenében a vonatban felhalmozott, és a fékezés segítségével eltávolítandó (átalakítandó) energia rovására **magának a vonatnak a tömege végzi**. E munkavégzés közben a vonatban korábban felhalmozott mozgási energia valamiféle más energiává (leggyakrabban hő- vagy elektromos energiává) alakul át.

**A vasúti fékezési technika számára megoldandó problémát ezért kezdettől fogva elsősorban a fékezőerőnek a fékezendő járműveken kellő időben, megfelelő módon, mértékben és időbeli lefolyással való biztosítása jelentette.** E törekvések keretében született meg a máig nagy tökélyre fejlesztett **vasúti fékezési technika**.

A fékezés időszakában lejátszódó energiaátalakítási folyamatban a **fékezést kezdeményező vontató jármű, melyről a fékezési parancs érkezik**, maga is csak mint egy fékezett jármű, a saját tömegének és fékje hatásosságának megfelelő arányban vesz részt, hiszen a mozdonyvezetőnek csak egy-egy fékezési folyamat kezdeményezése, és nem annak kivitelezése a feladata. **A kivitelezés az egyes, működőképessé fékes járműveken a jármű helyi „ön”-vezérlésével kell, hogy történjék.** Ez egy olyan fontos körülmény, melynek számos jelentős és súlyos következménye van, és ezek a következmények is voltak annak a sajátos fejlődéstörténetnek az ihletői, melyet a vasúti fékezési technika megélt, s amely még ma sem fejeződött be. Ezeknek a kérdéseknek a tanulmányozása vizsgálódásainknak egyik célja.

A régi „szép” kézfékes időkben normális körülmények között egy-egy fékezési folyamat bevezetése úgy történt, hogy a mozdonyvezető erre felhívó gőzsíp jelzést adott és a vonat hosszában elszórtan elhelyezett fékezők – ha ugyan meghallották – erre fékezni kezdtek. A vonat működtethető fékes járművei között a sípszótól, a fékezők fülétől és az összes járművek közötti vonókészülékektől eltekintve semmiféle egyéb kapcsolat

nem volt. A fékezők tevékenységének hatására minden egyes, tényleg fékezett fékes kocsi fékberendezése működésbe lépett. Így a vonatban levő néhány működtetett kézifék egymástól függetlenül hozzáfogott, hogy részt vegyen a vonat **összes** (esetleg 50-75) fékezett vagy nem fékezett járművei tömegében felhalmozott mozgási energiának a féktuskók és a fékezett kerekek futófelületén fellépő súrlódás miatt keletkező fékezőerő ellenében – a saját hatásosságának megfelelő mértékben – hőenergiává történő átalakításához. Minden fékező egy-egy külön személyiség, aki esetleg éppen az előző napon veszett össze a menyasszonyával; és az egyes kézifékek pillanatnyi állapota is különböző lehetett. Minden féktuskó egy-egy kis energia transzformátor. A vonatban felhalmozott mozgási energia hővé történő átalakításának a folyamata tehát esetleg nem éppen szigorúan determinisztikus módon alakult. Ezzel a helyzettel és annak veszélyeivel, melyekhez még a kézifék működtetéséhez szükséges volt fékezők hadseregének anyagi terhe is hozzájárult, már a kor vasutjai is tisztában voltak.

## **2. A vasúti fékrendszerekkel szemben támasztható követelmények, valamint azok teljesítésének problémái, ill. fizikai korlátjai**

Az emberi erővel működtetett kézifék helyére lépett minden nagyvasúti fékrendszernek napjainkban a következő alapvető követelményeket kell kielégíteni:

- A vontatójárműtől az utolsó kocsi fékberendezéséig az összes (fékes vagy fék nélküli ún. „átmenő vezetékes”) járműnek egymással állandó féktechnikai kapcsolatban kell lennie; tehát a fék „**átmenő**” legyen.
- A mozdonyvezetőnek képesnek kell lennie arra, hogy az általa kezelt, ún. „**fékezőszelep**” segítségével a vonatban található összes féket működtesse.
- Vonatszakadás esetén a szétszakadt vonat mindegyik részének önműködően be kell fékeznie; tehát a fék „**önműködő**” legyen.

- A féktuskóerők kifejtéséhez szükséges erőforrásnak már adott fékezési folyamat kezdeti pillanatában a fékezendő járművön kell rendelkezésre állnia.
- A vonatban található fékeknek egymást esetleg sűrűn változó fékezési és oldási műveletek esetében is **„kimeríthetetlen”**-nek kell lennie (vagyis ilyenkor sem engedhető meg, hogy eközben az egyes fékberendezések hatásosságukból veszítsenek).
- A vonat járművein esetleg alkalmazott fékezőcsapok („vészfékcsap”) segítségével is a teljes vonat fékrendszerének működtethetőnek kell lennie.
- A fék **kormányselepe**nek megfelelő mértékben **érzékeny**-nek kell lennie, hogy így a fővezetéken át érkező parancsokat képes legyen megbízhatóan követni és teljesíteni.
- Ugyanakkor azonban a kormányselepeknek olyan mértékben **érzéketlen**nek is kell lennie, hogy valamely jelentéktelen helyi tömítetlenség következtében ne kezdeményezzen indokolatlan fékezési műveletet.
- A korszerű fékrendszernek konstrukciójánál fogva alkalmasnak kell lennie arra, hogy **tehervonati, személyvonati és gyorsvonati üzemre alkalmas változata** is létezzen (olyan változatok is vannak, melyeknél ugyanaz a kormányselep mindhárom féle üzemre is alkalmas).
- Az európai nagyvasúti fékekre vonatkozó elengedhetetlen követelmény, hogy azoknak **az UIC által elfogadott különböző típusai egymással is együttműködjenek**.

Napjainkban azonban egy valóban korszerű fék a felsoroltakon kívül még további előnyös tulajdonságokkal is kell, hogy rendelkezzen. Így:

- **Fokozatos fékezésre és fokozatos oldásra** egyaránt alkalmas legyen.
- A fékezendő jármű kormányselepe a **fékhenger esetleges tömítetlenségi veszteségeit önműködően pótolja**.

- A kormány szelep (akárcsak a mozdonyvezető fékezőszelepe) súrlódásmentes szerkezeti elemekből álljon, hogy így ún. „**nagyérzékenységű**” szerkezet legyen.
- A kormány szelep „**egységműködésű**” legyen, ami azt jelenti, hogy különböző méretű fékhengerek kiszolgálása ugyanolyan „méretű” kormány szeleppel legyen lehetséges.

Úgy gondolom, hogy a fenti követelmény együttes jól érzékelteti, miszerint manapság egy korszerű fékberendezésnek mennyire nehéz – és néha egymásnak ellentmondó – követelményeket kell kielégíteni.

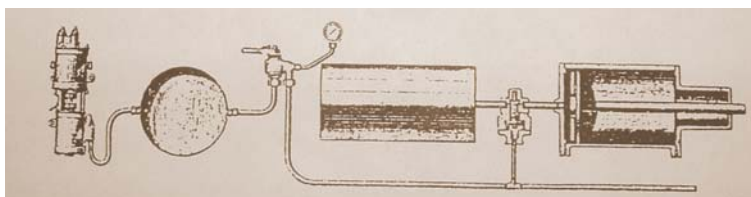
Viszonylag hamar kitűnt, hogy ezeknek az alapkövetelményeknek a kielégítésére legfőljebb két közeg jöhetne szóba: a **levegő** és az **elektromos áram**.

Az elektromos áram elvileg nagyszerű lehetőség, azonban a vasúti korszak első felében még nem volt az elektrotechnika annyira fejlett, hogy annak ilyen célú alkalmazása komolyan szóba jöhetett volna. Az elektromos áram féktechnikai alkalmazása napjainkban is csak legfőljebb különleges körülmények (pl. zárt motorvonatok) között „elektropneumatikus fék”-ként fordul elő, mert európai szintű általános bevezetéséhez az önműködő kapcsoló berendezés is szükséges volna. Két ilyen nagy horderejű újítás egyidejű általános bevezetése – jóllehet jól kivitelezhető lenne – azonban az európai vasutak számára jelenleg gazdaságilag elviselhetetlen terhet jelentene és gazdaságilag sem volna gyümölcsöző.

Az európai fejlődés ezért döntően a pneumatikus fékek irányában ment végbe. A két konkurens (légnyomásos és légűr fék) közül – évtizedeken át tartott küzdelem után – a „két dudás egy csárdában nem fér meg” tapasztalati tény alapján – végül is a **légnyomásos változat győzött**.

A nagyvasutakon alkalmazott légnyomásos fékeknek számtalan változatuk van, azonban azok végső soron a mozdonyvezető által kezelt *fékezőszelep*, a vonaton végigfutó *fővezeték*, a minden fékes járművön található *kormány szelep* és *segéd- (vagy készlet-) légtartály*, a *végelzáró váltó* valamint a *szomszéd járművek fővezetékével kapcsolatot biztosító tömlőkapcsolatok* együtteséből

állnak. Ez a rendszer alapjaiban ma is az amerikai Westinghouse-nak az 1860-as években alkotott rendszerére épül (lásd: 1. ábra).



1. ábra. A Westinghouse-féle légnyomásos fék ősi elrendezési vázлата

Minden – ezen az elven alapuló – önműködő, átmenő légnyomásos fék esetében az adott vonat egységes egészet alkotó pneumatikus fékrendszerében a sűrített levegőnek alapvetően különböző feladatai vannak; így:

- parancs kiadás,
- parancs továbbítás és
- erő kifejtés.

Napjaink – szinte mindentudó - „nagyérzékenységű” kormány-szelepei mögött számos generáció lassan másfél évszázados fejlesztési munkája áll. Ebben a munkában nemcsak feltalálók (néha csak gyakorlati szakemberek), hanem számos, egymással ebből a célból lazább vagy szorosabb szövetséget kötött, vasút erőfeszítései állnak; ez utóbbiak lehetővé tették, hogy a fejlesztés során a legkülönbözőbb álló és vonali vonatkísérletek legyenek végezhetők. Ezek alapján egyes vasúti szervezetek különböző „fékfeltételeket” dolgoztak ki, melyek azután a fejlesztési munka számára irányt szabtak, és amelyeket többször tovább fejlesztettek, ill. fejlesztenek. 1924 óta a mai napig létezett az UIC (Union Internationale des Chemin de Fer) „Fékalbizottsága”, mely az európai vasutak féktechnikája számára – mondhatjuk – mintegy a Vatikán szerepét töltötte be (napjaink-

ban ez az egész szervezet az EU kiépülése keretében mélyreható átszervezés alatt áll).

Azonban itt van talán annak helye, hogy érzékeltesük, miszerint egy - sokszor közel 1 km hosszúságú - vonat pneumatikus rendszerében végbemenő folyamatok legalább közelítő jellegű szinkronizálása mennyire nehéz feladat. Az átmenő fővezeték esetleg egy sok 100 m hosszúságú, 5/4" (mintegy 32 mm belső átmérőjű) acélcső, számos leágazással, és ebben a csőben a fék működésének különböző szakaszaiban váltakozva különböző irányú és mértékű légáramlások folynak és ezenkívül helyi tömítetlenségek is előfordulhatnak. Ezek a különböző célú - sokszor nagyon jelentős, máskor pedig gyenge levegőáramlatok általában a rendszer működési elvének következményei. A vonat különböző részeiben futó kocsik **kormányselepeinek** - mint az illető kocsi fékje „agyának” - ezek alapján kell eldönteni, hogy az adott esetben „mi a teendő”. Ezért fontos hogy a kormányselep valóban „nagyérzékenységű”, azaz „nagy intelligenciájú” legyen, vagyis hogy a fővezetéken keresztül nyomásváltozási jelenségek alakjában érkező, esetleg a csősúrlódás következtében eltorzult „parancsokat” gyorsan és azok eredeti szándékának megfelelően késedelem nélkül teljesítse. Súlyos zavarokat okozhat a vonat légfék-rendszerének esetleges jelentős tömítetlenségi vesztesége is, mert ilyenkor az azok önműködő pótlására törekvő fékrendszerben adódó akaratlan levegőáramlások az „intelligens” kormányselepeket is zavarba hozhatják (ilyen esetben ugyanis azt kell eldönteni, miszerint fékezési parancsról, vonatszakadásról vagy csak egyszerű tömítetlenségről van-e szó).

De lépünk ismét tovább. Eddig ugyanis nem is említettük azt, hogy a fékezett járművek mindenegyves fékező kerékpárja a sínnel együtt egy-egy kis súrlódásos kapcsoló, melyen keresztül a kerekek és a sín között fékezőerő adódik át. Ennek a súrlódásos kapcsolónak egy esetleges túlterhelésekor a kerékpár hirtelen megáll és a fékezett kocsi a vágányon csúszó szánkóvá alakul. Egy ilyen jelenség kellemetlen, sőt veszélyes következmé-

nyeit itt főleg részletezni. A vasúti járművek súrlódásos fékberendezésének a méretezését tehát kellő óvatossággal kell végezni.

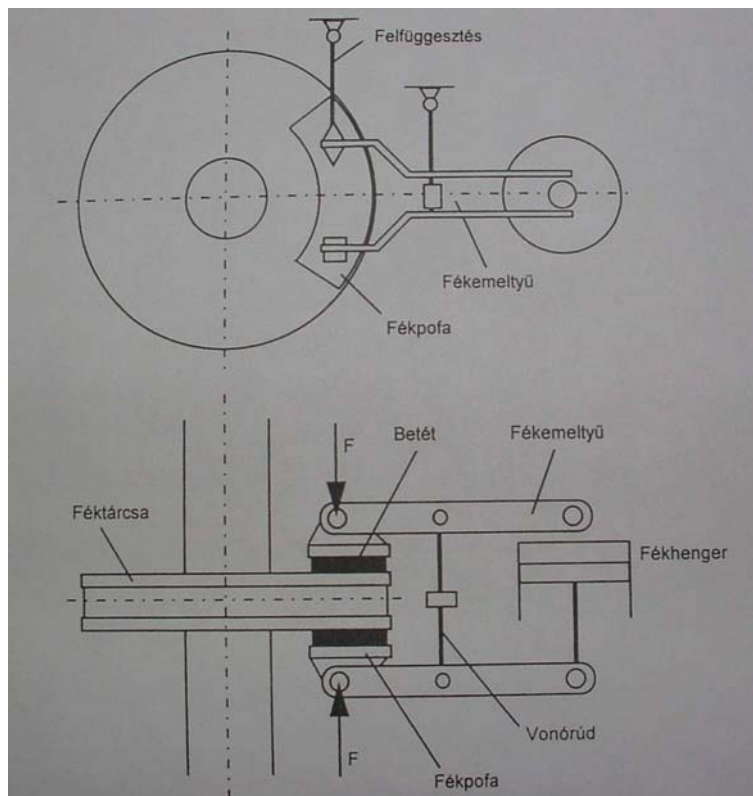
További jelentős probléma, hogy az adott vonat tömegében a gyorsítás időszakában felhalmozódott mozgási energia eltávolítása – mint láttuk – nem egyetlen óriási energia-transzformátoron keresztül, hanem esetleg több száz apró kerék / tuskó- vagy féktárcsa surlódóbetét-transzformátoron keresztül történik. Ezeknek a „transzformátoroknak” a kapacitása meglehetősen korlátozott, túligénybevételük esetén pedig akár a féktuskó, de még inkább a fékezett kerék szenvedhet károsodást. Ne feledjük, hogy pl. egy olyan tehervonatban, melyben a korábban a kocsiknak esetleg csak a minimálisként előírt 6 vagy akár 10 %-át fékezték, egy-egy fékező kocsi féktuskóira, ill. kerekeire 10-16 kocsi mozgási energiájának hőenergiává történő átalakítása hárult. Ez hosszabb lejtőkön esetleg szükséges, nagyobb időtartamú sebességszabályozó fékezések alkalmával a kerékabroncsnak nem egyszer olyan fokú melegedését eredményezte, hogy a kerékvázra a gyárban meleg állapotában felhúzott abroncs meglazulhatott. Kocsik esetében ez a jelenség különösebb problémát nem okozott, mert az abroncs és a kerékváz között nem adódik át forgatónyomaték, a fékezés befejeztét követő lehűlési folyamat alatt pedig a kerékváz és az abroncs közötti szilárd kapcsolat helyreállt. Más volt a helyzet a mozdonyok hajtó- és kapcsolt kerékpárjai esetében, ahol a gépezeti vonóerő a kerékvázon keresztül működik és csak a kerékváz és az abroncs közötti zsugorméret folyamatos létezése teszi lehetővé a saját szerkezetén belül is súrlódásos kapcsolót képező kerekek számára a vonóerő tényleges kifejtését. Ennek a körülménynek tulajdonítható az az érdekes tény, hogy a régi kézfékes időkben – amikor még éppen csak a minimálisan szükséges kocsin működött valóban fékező – biztonsági okokból a vonatot továbbító mozdonyon általában csak a szerkocsi és a mozdony esetleges futókerekei voltak fékezve. Napjainkban – miután a fék nélküli kocsik és az emberigényes kézfékek is kivesztek – ez a kérdés elvesztette jelentőségét.

Az idő múlásával egyébként a végeredményben jól bevált öntöttvas tuskós kerékfékezésnek vetélytársai is akadtak. Így:

- a korábban már röviden említett *tárcsásfék*, melynél a keréktengelyre felhúzott vagy a kerékvázra szerelt tárcsákra a kerékpártengely hosszirányában működik a tárcsa és a megfelelő fékrudazat által a tárcsákra szorított műanyag súrlódó fékbetét között ébredő – és a vágánytengellyel párhuzamos irányban működő - súrlódó erő. A tárcsásfék vasúti üzemben is jelentős mértékben terjed és különösen személykocsikon használatos.
- 
- Voltaképpen elvileg az öntöttvas féktuskós fékekkel rokon a *műanyag féktuskós fék*, melynek – akárcsak a tárcsásféknek – bizonyos szempontból kedvezőbb tulajdonságai (pl.: a sebességtől alig függő csúszósúrlódási tényező) vannak.

Az eddig említett surlódásos fékek mindegyikének hatásosságát a fékezett kerék és a sín közötti tapadás korlátozott volta határoolja. A "tapadási tényező" azonban egy olyan jellemző, melynek értékét kedvezőtlen körülmények között külső befolyások (pl. olajos vagy eljegesedett sínek) véletlenszerűen is leronthatják. Ennek tanúi lehetnek a menet közben minden fordulatuknál hallhatóan kopogó „meglaposodott” kerékpárok, de ezért születtek meg az egyes kocsikon használt „*csúszásgátló berendezések*” is .





2. ábra. Tárcsásfék egység elrendezése

Külön kategóriát képeznek a csak nagysebességű járműveken előforduló *elektromágneses sínfékek*, melyek esetében a fékezés-kor a jármű alatt vízszintes helyzetben felfüggesztett elektromágnesek tapadnak a sínre, és azoknak a sínhez képesti hosszirányú elmozdulása következtében lép fel a fékezőerő. Ennél a szerkezetenél természetesen nem létezik a kerékpár fékezés összes fajánál meglévő adhéziós korlát. Ezzel szemben a függőleges irányú fékezőerő reakcióereje átmenetileg megnöveli a

jármű kerékpár terhelését, a sínszálat pedig mintegy „fölszedni törekszik”.

Itt érdemes egyébként arra is emlékeztetni, hogy **nem a leghatásosabb fék a legjobb fék**, hiszen ha ez igaz lenne, akkor egy falnak rohanó vonat fékezése volna a legjobb...itt ugyanis a fékút 0 lenne.

A fékek egy teljesen más jellegű csoportját képezik a dízel- vagy villamos vontatójárműveken esetleg használatos *elektrodinamikus vagy a hidrodinamikus fékek*, melyeknél azonban a fékezőerő szintén a kerékpárokra hat, tehát ez az eset ugyancsak alá van vetve a kerék/sín közötti tapadás korlátjának.

Minden nagyvasuti jármű rugózó ütköző- és vonókészülékkel van felszerelve, ezért a vonatokban bizonyos esetekben **hosszszanti erők** is működhetnek. Ilyen jelenségnek különböző okai lehetnek. Így pl.:

- A vonatot továbbító mozdony vonóereje valami oknál fogva gyorsan megváltozik, vagy akár váratlanul megszűnik.
- A mozdonyvezető által a fékezőszelep segítségével kezdeményezett fékezési vagy oldási művelet a fővezetékben egy olyan vezérlési nyomáshullámot kelt, mely csak véges sebességgel terjed. Így pl. egy hosszú vonat egyes – a vontatójárműtől távolabbi – kocsijainak fékberendezései esetleg csak néhány mp-es különbséggel hajtják végre a kiadott parancsot, s ezért a vonat hosszában belső erők keletkeznek (a vonat „rángat”).
- Abban az esetben, ha a vonatban futó kocsik fékberendezésének saját tömegükhöz viszonyított fajlagos pillanatnyi fékezőereje esetleg különböző, akkor ott a szomszédos kocsik között is belső erő lép fel.
- Különösen kritikus lehet a helyzet, ha a vonatban fék nélküli kocsik is futnak, Ezt – a gyakorlatilag ma már nem létező - problémát egykor annyira kritikusnak tartották, hogy egy-egy új féktípus vonali kísérleti programjának egyik jelentős programpontja volt, amikor a hosszú tehervonatban

egy helyen egymás mellett 10 (!) fék nélküli („vezetékes”) kocsi futott.

Hosszú tehervonatokban egyébként gyakorlatilag elkerülhetetlen az, hogy a fékezés bevezető, valamint az oldás időszakában a vonat különböző helyein futó kocsik pillanatnyi fékhatásának mértéke között átmenetileg lényeges különbségek keletkezzenek. Ezért a légnyomásos fékeknek két működési változata: a csak viszonylag rövid vonatoknál használható „gyorsműködésű” („személyvonati”) és a hosszú tehervonatokra alkalmas „lassúműködésű” („tehervonati”) módozata lehetséges; „lassúműködés” esetében a fékezés kezdeti és befejező időszakában hosszú tehervonatoknál sem keletkeznek veszedelmes mértékű longitudinális erők.

Napjainkban, a „nagyérzékenységű” kormány szelepek korában, és a csak vezetékes kocsiknak a kivesztével az efféle problémák jelentősége már nagy mértékben csökkent, azonban a fékezett vonatban felléphető longitudinális erőknek a veszedelme számos fékrendszer engedélyezési vizsgálatánál annak idején rettegett jelenségnek számított..

Az öntöttvas féktuskók nagy sebességeknél jelentősen csökkenő csúszósurlódás tényezőjére való tekintettel a gyorsműködésű fékeknek olyan változata is van, melynél a nagysebességű üzemben bizonyos határsebesség fölött nagyobb, az alatt pedig kisebb féktuskóerők működnek és így a hatásos fékezőerő a sebességtől kevésbé függ.

Az utóbbi 2-3 évtized folyamán a vasúti fékezési technika területén – elsősorban a másodlagos jelentőségű kiegészítő elemek vonatkozásában – egyre terjed az elektronikus alkatrészek alkalmazása; ez a jelenség azonban a nagyvasúti pneumatikus fékek alapvető struktúráját nem érinti.

A nagyvasúti fékezési technika alapvető tényei végletesen zsurgított ismertetésének befejezéseként még azt kell elmondanom, hogy – az élet gazdag valóságát ismét leegyszerűsítve – a történelem, valamint a műszaki fejlődés eredményeképpen a vasút két évszázados története folyamán (továbbá a Pireneusi

félszigeten, továbbá a gyarmati időkben, valamint Ausztráliában kifejlődött vasúti rendszereket itt elhanyagolva) – Földünkön három különböző olyan vasútrendszer alakult ki, melyek alapparaméterei többé-kevésbé különböző irányú fejlődést eredményeztek. Ezek a rendszerek:

- 1435 mm („normál”) nyomtávolságú európai hálózat,
- a lényegében ugyancsak normál nyomtávolságú, de önműködő kapcsolóberendezést használó észak-amerikai vasútrendszerek, melyeknél a szokásos vonatterhelések értéke az Európában szokásosaknak akár két-háromszorosa is lehet, és ennek következtében a fékrendszerek is ennek – megfelelően - az európaiaktól eltérőek,
- az 1524 mm nyomtávolságú – egykor szovjet- - hálózat, melynél a vonatterhelések szintén az Európában szokásosaknál nagyobbak és szintén önműködő kapcsoló berendezést, valamint az Európában használatosaktól eltérő fékberendezéseket használnak.

Mindegyik nagy rendszernek megvannak a maga alapparaméterei és kötelező előírásai. E tanulmány - jóllehet ez rendszer most az EU átalakulásának következményeképpen éppen forradalmi átalakulásban van – természetesen az UIC által kialakított, „európai gondolkodásmód” szerint készült.

### **3. A légnyomásos fék hatásosságának kérdése**

A vasúti üzem biztonságának alapkövét jelenti az a követelmény, hogy a közlekedő vonatok fékje minden körülmények között rendelkezék az adott Vasút utasítási rendszerének megfelelő minimális hatásossággal. Mint már említettük, a vonatok kezdetben csak állomástávolságra közlekedhettek vagy esetleg legfőljebb a megengedett minimális időközönként lehetett adott állomásról a követő vonatot indítani. E biztonságilag számos szempontból kifogásolható és annak idején borzalmas baleseteket eredményezett rendszerek ma már kivesztek, és

helyükre általában olyan rendszerek léptek, melyek a **vonali általános fékút** fogalmának alkalmazására épülnek. Ennek megfelelően az egyes vonalak térközökre vannak felbontva; az egyes térközöket pedig **térközjelzők** választják el egymástól. Egy térközben egy időben csak egyetlen vonat tartózkodhat, a térközjelző előtt a vonali általános fékúttól megfelelő (pl. 400, 700 vagy 1000 m vagy akár nagyobb) távolságban felállított **előjelző** áll, mely a térközjelző „szabad” vagy „megállj!” állásáról tájékoztat.

A vonalon közlekedő minden vonatnak olyan mértékben kell megfékeznie, mely minden körülmények között képes a vonali általános fékút-távolságon belül (vagyis az előjelző és a főjelző közötti) megállást biztosítani.

Egy ilyen rendszernek logikus követelménye, hogy a közlekedő vonatok fékjenek hatásosságát ismernünk kell, vagyis az olyan járművekből álljon, melyek összes járművének fékhatásossága ismert. E rendszer további következménye, hogy az **összes járművek fékjenek hatásosságáról pontos ismeretekkel kell, hogy rendelkezünk.**

Az első péllanatban azt hihetnők, hogy ezt a problémát a fékútszámítás egyszerű szabályainak alkalmazásával oldhatjuk meg. Hiszen olyan csábítóan egyszerű a fékút meghatározására hivatott

$$f_k = \int \frac{c}{s} \cdot \frac{V^2}{19,62} \text{ kN/t}$$

összefüggés, ahol  $V$  km/h a fékezés kezdetén fennálló sebesség,  $s$  m a kívánt fékút,  $f_k$  kN/t pedig az a közepes fajlagos fékezőerő, mely az előírt fékút teljesítéséhez szükséges, végül pedig  $c$  a forgó tömegekre vonatkozó korrekciós tényező. Könnyű belátni azonban, hogy ez az összefüggés gyakorlati számításokra történő felhasználásra használhatatlan. Ugyanis:

- Könnyen megállapítható ugyan az  $s$  m vonali általános fékút, valamint a  $V$  km/h értékpároshoz tartozó  $f_k$  kN / t közepes fajlagos fékezőerő; ezzel azonban nem sokra me-

gyünk, mert az adott fékezés esetében így megállapított  $f_k$  - érték 1. a fékberendezés által kifejtett fékezőerő, továbbá a jármű- és légellenállás pillanatnyi értékeinek alakulásától, 2. a fővezetékben kialakuló áramlási viszonyoktól, 3. a pálya lejtviszonyaitól, valamint 4. a vonat hosszától egyaránt függ.

- A felsorolt három tényező közül az 1. idő- és sebességfüggetlenségű, 2. a vonat fővezetékének adottsága, 3. a helyi pályaviszonyoktól – esetleg bonyolult módon – függ, a 4. pedig az adott vonat hosszából származó eseti jellemző.
- Elmondható tehát, hogy az adott üzemi esethez tartozó  $f_k$ -érték számítási úton történő meghatározása még a számítási technika mai magas színvonala mellett is gyakorlatilag megvalósíthatatlan.
- Még reménytelenebbé teszi a helyzetet, hogy üzemi előírások kidolgozása alapjaként felhasználható  $f_k$  -értékek egész halmazait kellene a különböző vonali általános fékút- - sebesség- - féknem - kombinációkra kidolgozni.

A mindennapos vasúti üzem tehát már igen korán – még a kézfék kizárólagos uralma idején - azt igényelte, hogy adott jármű hatásosságára vonatkozóan valamiféle **olyan jellemző szülessék, melynek ismeretében minden közlekedő vonat esetében a vonatok közlekedtetése körül tevékenykedő üzemi alkalmazottak** – akik még napjainkban sem éppen egyetemi tanárok – is **könnyen és egyértelműen ellenőrizhessék adott vonat megfékezhettségének mértékét.**

Itt azonban emlékeztetek a kézfék egy olyan nagyszerű tulajdonságára, melyet a későbbi légfékek csak hosszas fejlesztési erőfeszítések után voltak képesek teljesíteni; a **raksúlyfékezés** lehetőségéről van szó, hiszen egy gyakorlott fékező mindig a teherkocsi rakottsági mértékének megfelelően „húzta meg” a kézféket. Ennek logikus következményeképpen a korai időkben tehát a **jármű tömegét** (melyet abban az időben még

„súly”-nak nevezték) tartották a fék hatásosságára nézve jellemzőnek. Ennek a korszaknak érdekes emléke az az előttem ismert legrégebbi „féktáblázat”, melyet az egykori Német Vasútegylet Fékbizottsága 1865-ben Hamburgban tartott tanácskozása alkalmával elfogadott (lásd 1. táblázat).

Érdeemes megemlíteni, hogy ebben a korai időszakban még csak nem is a fékező és a nem fékező kocsik súlyát (mai terminológiával: tömegét), hanem egyszerűen csak *a fékes kocsik arányát tekintették mértékadónak*.

Az 1924-ben megalakult **UIC-Fékalbizottság** működésének eredményeképpen a helyzet rohamosan tisztázódni kezdett. A fék hatásosság értékelésének nehézségei – érthetően – a tehervonati fékek esetében jelentkeztek, hiszen ott a fékhenger töltési (és a fékoldási) idők a vonat hosszdinamikájának javítása érdekében mesterségesen elnyújtottak, miáltal természetesen a fékhatásosság értékelése is nehezebbé válik.

1. táblázat. A Német Vasútegylet 1865-ből származó féktáblázata

Lejtés	Vonatsebesség mérföld / óra			
	- 3	- 4	- 5	5 -
	100 kocsi közül fékezendő			
1 / 500	6	9	14	19
1 / 300	7	10	15	20
1 / 200	8	12	16	21
1 / 150	10	14	18	23
1 / 100	12	16	20	25
1 / 80	14	18	22	27
1 / 60	17	21	25	30
1 / 50	20	24	28	40
1 / 40	24	28	32	50

Megjegyzés: Az egyes jellemzők az akkor szokásosnak megfelelő terminológiájúak.

Idők folyamán számos kutató próbált a fékút meghatározására alkalmas módszereket kidolgozni. Erre törekedett **F. Besser** is, aki 1929-ben valóban óriási felkészültséggel mélyedt bele a fékútszámítás elméleti rejtelseibe. A kiváló szerzőt azonban a fékútszámítás inkább csak mint a féktáblázatok kidolgozásának a segédeszköze érdekelte.

Jelen tanulmány szerzője ifjúkori „búnei” között tartja számon a saját maga által annakidején nagy fáradsággal és meglehetősen naivitással kifejlesztett fékútszámítási módszerét. Azonban a hagyományos mechanikai módszereket alkalmazni megkísérlő minden ilyen eljárás – a régi mondás szerint – „Scylla és Charybdis között hajózik”, mert az vagy a megengedhetetlen egyszerűsítések, vagy pedig a gyakorlati alkalmazhatatlanság szirtjei között szenved hajótörést.

A fékútszámítás problémakörének történetileg legjelentősebb kutatója a német **F. Sauthoff**, - aki e tanulmány szerzőjének is személyes ismerőse volt - 1961-ben közzétett híres tanulmányában nemcsak a fékútszámítás addigi múltjáról ad áttekintést, hanem annak egész elméleti hátterét mélyrehatóan és óriási kísérleti anyag birtokában elemzi. Az általunk a fentiekben áttekintett nehézségeket, amelyek az általa „fizikai alapokra felépítetteknek” nevezett módszereket jellemzik, ő is valójában áthidalhatatlannak ítéli.

A Sauthoff-tanulmány idején azonban már nyilvánvaló volt, hogy **a fékútszámításnak egy másik, speciális útja is lehetséges**. Idézem itt a kiváló szerzőt:

„Ahelyett, hogy valamilyen fékút-képletet az energia-egyenletre, az egyes konstrukciós és fizikai alapelemekre építenénk fel, bizonyos értelemben „hátról is hozzáfoghatunk a dologhoz”, mégpedig úgy, hogy ismert fékútakból indulunk ki, és megkíséreljük, hogy azok alakulását egy ismert képletbe foglaljuk össze. E képlet tagjai azután – sebességtől és a pályaellenállástól eltekintve – **már nem lesznek többé fizikai mennyiségek, hanem**



**tisztán csak számítási jellemzők. Jellemző paraméterként a fékszázalékot használjuk.”**

A „fékszázalék” fogalom már a korábban említett 1865 évi hamburgi jkv-ben is előfordul, tehát olyan ősrégi fogalom, melynek jelentése azonban a fejlődés folyamán ismételten változott. Kezdetben a vonat összes fékezett tengelyeinek az összes tengelyszámhoz vagy az összes fékezett vonattömegnek a teljes vonattömeghez viszonyított százalékos értékét jelentette, amit azután a vonat megfékezetségére jellemző értéknek tekintettek. Később egyes vasutak a teherkocsinál a „fékérték” („Bremswert”) fogalmát is használták, amelynek értéke hozzávetőlegesen a „**féktuskóerő**” **százalékos értékének felelt meg**. A fejlődés utolsó, napjainkig élő szakasza kezdetén jelentek meg a „**féksúly**” („**Bremsgewicht**”) és a „**féksúlyszázalék**” fogalmak, és ez utóbbi alkalmas volt a fékútszámítás teljesen új alapokra történő helyezésére.

Félreértések megelőzése céljából itt szükséges megjegyezni, hogy az **SI-mértékrendszer** világszerte történt bevezetése óta a „**súly**” fogalomnak **műszaki számításokkal kapcsolatos használata voltaképpen tilos, és helyette a „tömeg” szót kell használni**. A „**féksúly**” fogalomnak a vasúti világban történt nagyfokú elterjedtsége miatt azonban az UIC ma is használja a „Bremsgewicht” („**féksúly**”) és „Bremsgewichtshundertstel” („**féksúlyszázalék**”) kifejezéseket és a továbbiakban mi is ehhez tartjuk magunkat.

Az általános használatra alkalmas európai tehervonati légfékeknek hatásosságára vonatkozó, a konkrét üzemi esethez jobban idomuló módszer kidolgozása a tehervonati fékeknek az 1920-as / 30-as években történt megjelenése után először e fékek esetében vált égetően szükségessé, mert ott a raksúlyfékezés igénye - ellentétben a kézfékekkel - külön megoldásokat, valamint azok hatásosságának legalább közelítőleg megbízható elbírálási lehetőségét igényelte, annál is inkább, mert abban az időben a fék nélküli teherkocsik arányszáma is jelentős volt

még. Érthető ezért, hogy a probléma áthidalására először a tehervonati légfékezés esetére születtek megoldások.

A probléma megoldási lehetőségének tanulmányozása céljából **egy gondolati kísérletet végzünk**. Válasszunk ki egy hagyományos öntöttvas féktuskókkal felszerelt, olyan kocsit, melynek fékberendezése alkalmas arra, hogy egy váltó állítása segítségével akár személyvonati („gyorsműködésű”), akár pedig tehervonati (lassúműködésű) fékezésnek megfelelően működjék. Végezzünk ezzel a kocsival a két különböző állásban fékezve különböző sebességekről és kocsitömegek esetében, síkpályán és különböző lejtőkön fékútmérési kísérleteket. A nagyszámú különböző paraméter-kombinációval nyert fékút-sereg ismeretében nyerhetjük azt az  **$f_k$ -értéksereget**, melynek segítségével viszont az annak megfelelő  **$a_{ki}$  m/s<sup>2</sup>** közepes lassulási értékek határozhatók meg.

A két különböző fékezési nemre – természetesen – két, egymástól teljesen eltérő  **$f_k$ -érték- sereget** nyerünk, melyeknél az egyébként **azonos üzemi esethez tartozó értékek viszonya is változó**.

Következő lépésként

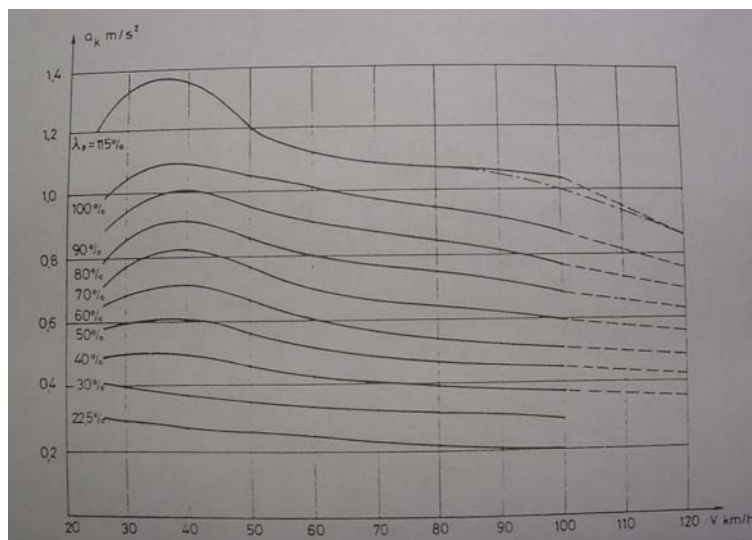
- Válasszuk a fék hatásosságának jellemzőjeként a **tonnával mért féksúlyt, melyet állandónak tekintünk**, továbbá
- jelentsük ki, hogy minden olyan jármű, amelynek  **$f_{k,jármű}$  értékserege a bázis-járműével azonos, szintén állandó féksúlyú**.

A gyakorlati igények ösztönzésére kialakult „féksúly” (**B**) és „féksúly-százalék” ( **$\lambda$** ) fogalmaknak ez a gondolatmenet az **elvi háttere**. Tekintettel arra, hogy lassúműködésű, ill. gyorsműködésű fékezés esetén a két értéksereg egymástól nagy mértékben eltér, azért a  **$t_{sz}$  személyvonati** és  **$t_t$  tehervonati féksúlytonnák<sub>s</sub>** és az azokkal mért  **$B_{sz}$  személyvonati** valamint  **$B_t$  tehervonati féksúlyok egymással nem szükségszerűen azonos értékűek, és – legalábbis szigorúan véve – egymásra át sem számíthatók**.

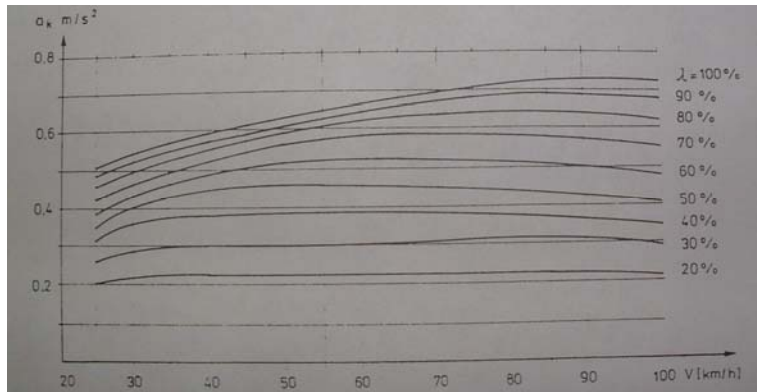
Gondolatmenetünk logikus következménye, hogy **valamely fékezett jármű  $B_t$  vagy / és  $B_{sz}$  féksúly-értékéhez különböző üzemi esetekre vonatkozóan változó  $f_k$  (és azzal arányos  $a_k$ ) értékek serege tartozik**; éppen ebben a trükkben rejlik a „féksúly”-fogalom zsenialitása.

A féksúly állandóságának feltétele síkpályán végzett fékezésekre egy-egy -  $t_t$ , ill.  $t_{sz}$  féksúlytonnára érvényes -

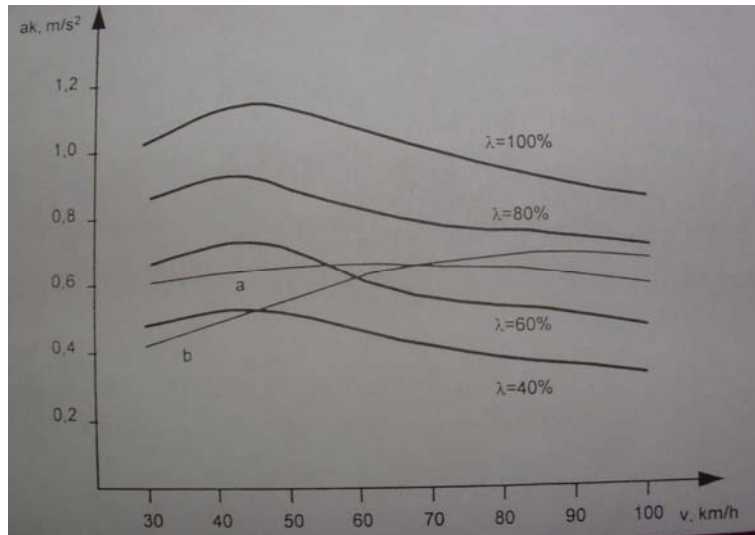
közepes lassulás ( $a_k$ ) - fékezési kezdősebesség ( $V$ )-koordináta-rendszerben - a MÁV saját kutatásai alapján - egy  $\lambda$ -féksúlyszázalék paraméterű hálózattal jellemezhető (lásd: 3.-4. ábra) Ha egy ilyen felépítésű görbe-seregbe berajzoljuk a valamely járművel különböző sebességekről nyert közepes lassulási értékek görbéjét, akkor könnyen megállapítható, hogy ilyen esetben milyen mértékben valóban állandó az illető jármű féksúlya (lásd: 5. ábra).



3. ábra. Állandó féksúlyt jellemző féksúly-százalék görbék (személyvonati féksúly)



4. ábra Állandó féksúlyt jellemző féksúly-százalék görbék (tehervonati féksúly)



5. ábra. Nem hagyományos fékberendezésű járművek féksúly-állandóságának ellenőrzése

„a” görbe: különleges P14 minőségű öntöttvas féktuskó,

„b” görbe: műanyag féktuskó.

Az 5. ábra egyértelműen jelzi, hogy a féktechnika fejlődésével párhuzamosan a féksúly állandósága tekintetében is jelentkeznek problémák.

Itt érdemes talán megemlíteni, hogy a 3. - 5. ábrák hálózatában bemutatott módszert, amely adott jármű féksúlya állandóságának ellenőrzésre alkalmas, az **UIC-Fékalbizottság** felkérése alapján az 1970-es években a **Svájci Szövetségi Vasút** gazdag kísérleti anyagának felhasználásával kezdeményezésre a **MÁV** dolgozta ki.

Szándékosan időztünk a „féksúly”-fogalom alapjául szolgáló gondolatoknál. A „féksúly”-fogalom és annak különböző változatai, illetve az azok gyakorlati alkalmazásához szükséges eljárás módok az **UIC-Fékalbizottság** működésének gyümölcseként, lényegében az 1920-as évek második felében és az 1930-as években születtek meg. A 20. Század második felében ezt a rendszert folyamatosan igazították a féktechnika fejlődésének újabb eredményeihez. A jelenlegi évben – mint majd röviden látni fogjuk – az eredeti gondolatok megőrzésével a rendszer nagyobb mérvű korszerűsítésére kerül sor.

A **Fékalbizottság 1928 évi** jkv-eiben jelenik meg a **tehervonati féksúly** számítási úton történő meghatározására alkalmas

$$B_t = \frac{10}{7} \cdot P \cdot \gamma_t$$

összefüggés, ahol  $B_t$  a **tehervonati féksúly**,  $P$  kg a **féktuskóerők összege**,  $\gamma$  pedig egy olyan **értékelési tényező**, mely vég-eredményben a féktuskóerők hatékonyságától és a fékhenger töltési folyamatától függ. A  $10 / 7$  szorzó onnan adódik, hogy teherkocsik esetében hallgatólagosan 70 féktuskóerő-százalékot tételeztek fel; ilyen esetben, ha  $\gamma = 1$ , akkor a jármű tömege („súlya”) annak féksúlyával azonos. **1931-re** az annak gyakorlati alkalmazásához szükséges összes kísérletet elvégezték és az

összefüggés – időközben a fejlődés által szükségessé vált kisebb módosításokkal és kiegészítésekkel – az öntöttvas-féktuskós tehervonati fékezésre 2003 év végéig volt érvényben..

A fenti összefüggésben szereplő  $\gamma$  értéke a

$$\gamma = \gamma_a \times (\gamma_p \times \gamma_t),$$

ahol

$\gamma_a$  a tuskóerőnek, valamint a fékhenger töltési folyamat kezdeti ütemének,

$\gamma_p$  a tuskóerőnek és a fékhenger töltési folyamat két különböző jellemzőjének,

$\gamma_t$  a tuskóerőnek, a fékhenger töltési folyamatnak és annak kezdeti ütemének

egy-egy függvénye. E három tényező különböző üzemi esetekben érvényes értékeire nézve a döntvény terjedelmes táblázatok és azokat ábrázoló görbesereget is tartalmaz.

**Személyvonati fékes járművek** esetében a féksúly fogalom bevezetésére vonatkozó igény nem volt annyira nyomasztó, mert

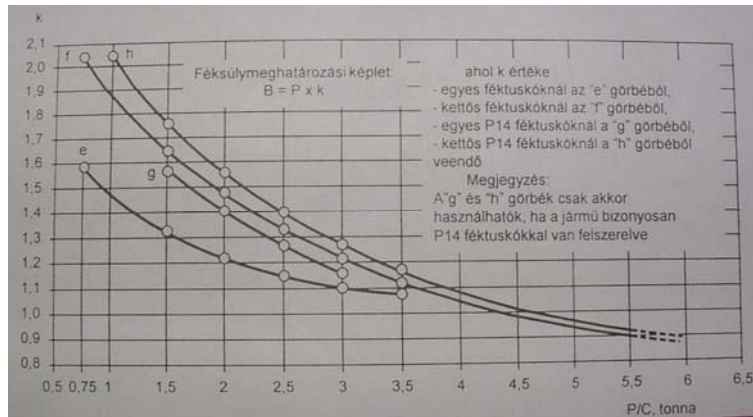
- már viszonylag korai időkben is minden személykocsi fékes volt,
- a gyorsműködésű fékek rövid töltési ideje is egyszerűsítette a hatásosság értékelésének a feladatát,
- személyforgalomban természetesen csak kevés jelentkeztek a raksúlyfékezés értékelési problémái.

Ezért ezen a területen a vizsgálatok lassan haladtak és csak 1939-ben, a Fékalbizottságnak a 2. Világháború kitörése előtt tartott utolsó ülésén fogadták el azt a féksúly meghatározási módszert, mely szerint a személyvonati féksúly értéke:

- akár kísérleti úton, akár pedig – a féktuskó típus valamint a féktuskóerők mérési eredményeinek az ismeretében – számítások alapján egyaránt meghatározható,

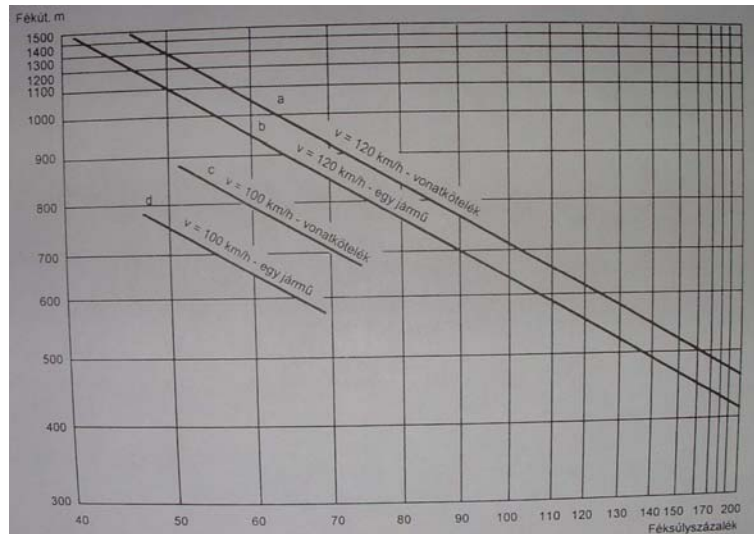
- a fékkísérletek akár vonatkötelékben, akár pedig egyetlen – a mozdonyról a féktűmérés kezdetén egy speciális vonókészülék segítségével lekapcsolt – egyetlen kocsival tarthatók,
- féktűmérések hiányában a személyvonati féksúly a  $B_{sz} = P \times k$  összefüggés alapján határozható meg.

A **k-tényező** értéke az egy féktuskóra ható féktuskóerő és a féktuskó szerkezetének és anyagának ismeretében a 6. ábra diagramja alapján állapítható meg.



6. ábra. A személyvonati légféksúlynak a féktuskóerő ismeretében való meghatározására használt **k**-értékelési tényezők a féktuskóerő függvényében különböző konstrukciójú és anyagú féktuskóknál

- Féktűmérések eredményének ismeretében a személyvonati féksúly-százalék a 7. ábra diagramjáról olvasható le.



7. ábra. Személyvonati légféksúlynak kísérleti eredmények ismeretében lehetséges meghatározására szolgáló diagram

A fentiekben röviden áttekintett módszerek csak rövid módszerbeli áttekintésre alkalmasak; a különböző jármű változatokra, ill. fék-fajokra itt nem ismertető részletesebb rendelkezések bonyolítják a helyzetet.

Különösen a raksúlyfékezés, valamint a nagysebességű járműveken alkalmazni szükséges, sebességfüggésű nyomásmódosítóval esetleg ellátott fékberendezések lényeges kiegészítő elemek használatát is szükségessé tehetik. Egy akadémiai székfoglaló előadás műfajában azonban inkább csak egy elvi jellegű ismertetésnek van helye.

Az 5. ábra jól érzékelteti egyébként, hogy a különböző - a közönséges kivitelűektől eltérő - fékberendezések (pl. nyomásmódosító fékek, elektromágneses sínfék, műanyag súrlódó betétes



fékek által biztosított fékhatás) általában veszélyeztetik a féksúly értékének az állandóságát.

A vasúti féktechnika szabályozásának filozófiája ósidóktól kezdve lényegében a fékezendő vonat számára minimálisan szükséges fékezett súlysúlyszázalékok valamiféle változatának az előírásán alapul. Ez a rendszer azt feltételezi, hogy a vonat fékes járműveinek fékhatásosságát ismerjük és ez elegendő ahhoz, hogy a közlekedő vonat fékbiztonsága kifogástalan legyen; tehát egy - a fékek működőképességét bizonyító - indulás előtti sikeres fékpróba után a tényleges fékbiztonságot menet közben már ellenőrizni nem szükséges. Ez a filozófia mintegy másfél évszázadon át jól bevált.

Idők múltával azonban az üzemi körülmények változtak; ugyanis:

- a gőzüzem eltűnével a mozdonyvezető - mint vontatási szakember - egyedül maradt a vezetőálláson, és bármi okból történő akadályoztatása esetén a vonat - mondhatni - gazdátlaná válhat;
- a menetrendszerűen közlekedő nagysebességű vonatok sebessége korábban elképzelhetetlenek tűnt értékeket ér el (ma pl. egyes vasutaknál 300 km/h sebességű vonatok is rendszeresen közlekednek).

Az első problémát oldja meg az ún. „éberségi berendezés”, melyen a mozdonyvezetőnek rendszeresen igazolnia kell „éberségét”. Ez a módszer ma már általánosnak mondható.

Nehezebben megoldható kérdés az igen nagy sebességű vonatok biztonságának a problémája, mert a nagysebességű vonatok esetében rövid idő alatt keletkezhet olyan üzemveszély, melynek a következményei is sokkal súlyosabbak lehetnek. Ezért jelentek meg a **vonatbefolyásoló rendszerek**, melyek a közlekedő vonat és a pálya biztonsági berendezései között folyamatos és a vonat menetének szabályozására, ill befékezésére is alkalmas kapcsolatot tartanak fenn, és a **vonat tényleges sebességét folyamatosan ellenőrzik**. Ennek az

ellenőrzésnek legmegbízhatóbb kritériuma pedig a már a jó öreg **Newton** által is ismert **lassulások (m / s<sup>2</sup>)** értéke.

Erre való tekintettel a 200 km/h-nál nagyobb sebességű vonatok esetében a sebesség és a gyorsulás folyamatos ellenőrzése érdekében a jelző és a vonat között állandó információs kapcsolat van, és az ebből eredő információk szükség esetén a vonat fékrendszerét is működésbe hozhatják. A 200 km/h fölötti sebességtartományban tehát **a vonat fékhatásosságának ellenőrzésére különleges, meglehetősen bonyolult vonatbefolyásolási eljárás van érvényben**, melynek részletes ismertetésére itt nem térhetünk ki.

A **féksúly meghatározásának** hosszú idő alatt kialakult rendszerét, melyet mintegy fél évszázad óta az **UIC 544 sz. döntvény**nek ezen idő alatt folyamatosan tökéletesedő különböző kiadásai tartalmazzák, az éppen szintén átszervezés alatt álló **Fékalbizottság** alapvetően átdolgozta, s ez alkalommal az UIC-üzemben előfordulható minden elképzelhető üzemi esetre konkrét módszereket adott a fékhatásosságának meghatározására.

A 2004 január 1-től érvényes **544-1 döntvény**nek ezen - könyv méretű - **4. Kiadása** - különleges esetekre gondolva - közelítő pontosságra igényt tartó különböző korrekciós tényezők alkalmazását is megengedi, és azokra konkrét értékeket ad meg. Kisebb részletkérdések részletes szabályozása mellett a Döntvény jelentős újításokat is tartalmaz. Érdekes tény viszont, hogy bizonyos további kérdések szabályozása tudatosan nyitva maradt, és azok később kerülnek rendezésre.

Mindenesetre érdekes újítás, hogy a féksúlyt teherkocsik esetében is személyvonati állásra kell meghatározni. Ez azonban csak első pillanatra nézve tűnik helytelennek. Ugyanis:

- „tehervonati” állásban fékező kocsinak „személyvonati” fékállásban fékező vonatba történő besorolása esetén a kocsi feliratozott féksúly értéknek csak 75 %-át szabad figyelembe venni.

- Ha viszont a kocsi „tehervonati” fékkel futó vonatban közlekedik, ott már a lassú működésű fékre vonatkozó , tehát nagyobb fékszázalékok vannak előírva.

Fontos újítást jelent, hogy a hosszú vonatokra vonatkozóan – vonatnemtől függően – a megfékezetség névleges értéke bizonyos esetekben bizonyos mértékben növelendő. Ez teljesen logikus, hiszen hosszú vonatok végén az oda pneumatikus módon továbbított „parancsok” késedelmesen jutnak el. Általában jellemzője az új rendszernek, hogy a fék hatásosságát befolyásoló számos különböző körülményt megfelelő korrekciós tényezők bevezetésével vesz tekintetbe.

A döntvényben részletekbe menő előírások találhatóak a fékútmerési kísérletek végrehajtására és az eredmények megbízhatóságának biztosítására vonatkozóan.

#### **4. Néhány szó a vasúti féktáblázatokról**

Az előttem ismert legrégebbi féktáblázatot (Német Vasútegylet, 1865) már a korábbiak folyamán bemutattam. A különböző vasutak által használt féktáblázatok alapvető struktúrája lényegében azóta sem változott; fejlődés voltaképpen két területen ment végbe:

- Különböző vonali általános fékútakra – természetesen – különböző féktáblázatok születtek s azok értéke az illető vonalakon megengedett legnagyobb sebességek figyelembevételével kerül megállapításra.
- Azonos vonali általános fékút esetén is – természetesen – külön féktáblázat szükséges a lassóműködésű és a gyorsműködésű fékekre.

A féktáblázatoknak azonban van egy különleges problémája. A tényleges fékhatás ugyanis adott esetben véletlenszerű üzemi körülmények hatására a névleges mértéktől eltérő lehet. Ennek

következményeit **F. Besser** már korábban említett művében olyan jól foglalja össze, hogy itt azt szó szerint idézzük

„Valamely vonat megfutamodásának, vagyis folyamatos fékezés melletti gyorsulásának a veszélye – például a fékek részleges működésképtelensége esetében nagy sebességekről és erélyesen fékezett vonatoknál – lényegesen kisebb, mint kisebb sebességeknél és ennek megfelelően kevesebb féknél. Ez az alábbival magyarázható: Lejtőn való haladáskor a fékezőerő egy része ahhoz szükséges, hogy a nehézségi gyorsulás lejtőn lefelé gyorsító komponensével egyensúlyt tartson, és csak a fékezőerő maradéka szolgál a vonat eleven erejének (a szerző szóhasználatával) „megsemmisítésére”. Erős lejtőkön és csekély sebességeknél a fékezőerő említett része igen nagy, a második rész pedig igen kicsi, úgy hogy a szűken méretezett féksúly- szálalékoknál már a súrlódás csekély csökkenésével, pl. csúszós sín vagy egyéb hasonló körülmény esetén, a fékezőerő kisebbé válhat, mint a nehézségi erő komponense és megfutamodás lép fel. Nagy sebességeknél ugyanazon a lejtőn a szükséges fékezőerő első része közelítőleg azonos marad, a második részt azonban lényegesen meg kell növelni. A fékezőerő mérsékelt csökkenése esetén ezért mindig megmarad elegendő fékezőerő ahhoz, hogy a nehézségi erő komponensét kiegyenlítsük.”

Elmondható tehát, hogy a fékútnak a különböző üzemi tényezők nem teljesen állandó értéke miatti ingadozása

- Kis sebességű, gyengén megfékezett, nagy lejtőkön közlekedő vonatoknál nagy,
- Nagy sebességű, erősen megfékezett, síkpályán haladó vonatoknál pedig kicsi.

A fenti tények ismeretében annak idején a BME Vasúti Tanszékének bevonásával példaképpen abból a szempontból elle-

nőriztük a német és a magyar vasutak által gyorsműködésű fékekre 400, ill. 700 m vonali általános fékútakra egyaránt használt féktáblázatokat, hogy azok megfelelnek-e a fentiekben tett megállapításoknak. E vizsgálatok eredményeit példaként a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. A gyorsműködésű fékekre 400 m vonali általános fékút esetén érvényes féktáblázatba beépített biztonsági tényezők

Lejtő ‰	Sebesség km / h				
	40	50	60	70	80
0	1,111	1,111	1,111	1,111	1,111
2	1,117	1,105	1,124	1,118	1,137
4	1,186	1,134	1,136	1,140	1,151
6	1,192	1,163	1,149	1,162	1,166
8	1,260	1,156	1,161	1,168	1,191
10	1,329	1,185	1,174	1,190	1,206
15	1,496	1,275	1,216	1,245	1,264
20	1,546	1,330	1,237	1,300	-
25	1,370	1,420	1,323	-	-
30	1,759	1,509	1,409	-	-
40	2,090	1,757	-	-	-

A táblázat adatait vizsgálva megállapítható, hogy a biztonsági tényezők változási jellegének tendenciája a vártnak megfelelő: a biztonsági tényezők által alkotott „értékhegy” csúcsa

„legkisebb sebesség - legnagyobb lejtő

értékpárhoz tartozik és a sebességek növekedtével valamint a lejtők csökkenésével a biztonsági értékek egyaránt csökkennek.. Ez alól csak a  $V = 80$  km/h sebességekre vonatkozó adatok jelentenek csekély kivételt; ennek oka ma - kb 100 év után - már nem állapítható meg.

Itt azonban még egy további lényeges dolgot kell megemlítenem. Ezek a többé-kevésbé ma is érvényben levő különböző féktáblázatok nagyjából 100 évvel ezelőtt születtek, amikor

egész Európa tehervonati üzeme még kézfékes volt. Általában a teherkocsiknak egyharmadán volt kézfék, a sebességek kicsik voltak és a fékezők fizetése súlyos anyagi terhet jelentett, ezért éppen csak a minimálisan szükséges mennyiségű féket kezeltek. Az idő múltával azonban a kézfékes üzem a gyakorlatból kivészett, és a helyére lépett általános légfékezés következtében szaporodni kezdtek a légfékes kocsik, 1967 óta pedig már nem is volt megengedett légfék nélküli új, tehát csak átmenő vezetékekkel ellátott kocsik gyártása.

A féktáblázatokban szereplő, sokszor rendkívül alacsony fékszázalék értékek tehát elvesztették realitásukat és a vonatok legnagyobb része a megengedett minimálishoz képest esetleg többszörösen biztonságos. Ez az állapot nemcsak biztonsági szempontból nézve rendkívül örvendetes, hanem a szükséges fékezési teljesítmény normális esetben az egész vonat összes kerékpárján adódik át, tehát a kerekek túlmelegedése ma már gyakorlatilag alig fordul elő, a vonatok legnagyobb része a megengedettnél általában sokkal kisebb távolságon is megállítható.

Ez a megállapítás természetesen csak a közönséges vonatokra érvényes, mert a nagy és legnagyobb sebességű forgalomban gyakran az sem elegendő, ha a vonat minden kerékpárja fékezett. Ilyen esetben két megoldási lehetőség van:

- Mindenekelőtt a korábban említett kiegészítő fékek alkalmazása (pl.: nyomásamódosító gyorsvonati fék, dinamikus fék, elektropneumatikus fék, elektromágneses sínfék), melyeknek azonban általában korlátozottak a lehetőségeik.
- 200-300 km/h sebességek esetében azonban nagyjából a sebesség négyzetével közelítőleg arányosan növekvő fékútak már olyan hosszúak, hogy messze meghaladják a szokásos vonali általános fékútak értékét. Ilyen esetben két megoldási lehetőség van:
  - többfogalmú jelzőrendszerek használata, melyek segítségével a közönséges vonatok egy vonali fékút távolságra megfékezetten közlekedtethetők, az

említett nagysebességű vonatok viszont 2 vagy 3 fékút távolságon állíthatók meg, azonban az ilyenkor nem hiányozható vonatbefolyásoló rendszer a vonat és a vonal között állandó kapcsolatban van és a vonat előtt mindig két vagy három szabad térközt biztosít;

- az ilyen bonyodalmakkal járó problémákra való tekintettel újabbban terjed az a módszer is, hogy az ilyen sebességű forgalom számára külön vonalat építenek, melyen a két féle forgalom különböző féktechnikai igényei nem zavarhatják egymást. Az ilyen vonalakat egyébként célszerű nyílt vonalon is olyan korláttal ellátni, mely az esetleg a vonaltól nem messze legelésző állatoktól távoltartja, mert pl. egy tehén elütése nemcsak a tehenre járhat súlyos következményekkel...

x x x

A fentiekben arra törekedtem, hogy az egész földtekét behálózó vasúti technika tudományának olyan részterületéről próbáljak áttekintést adni, mely az európai fékezési technikával kapcsolatos. Igyekeztem a problémakör történelmi háttéréről is néhány szót mondani, hiszen e nélkül a jelenlegi fejlődési szint nem volna sem érthető, sem pedig méltányolható. Örülnék, ha ez a törekvésem érdeklődést keltett volna.

## A TÉMÁVAL KAPCSOLATOS SZAKIRODALOM

- Anger, D.:* Zur Frage der Einführung von durchgehenden Güterzugbremsen bei den europäischen Eisenbahnverwaltungen (Glaser's Annalen, Sonderheft, 1827)
- Besser, F.:* Kommentar zur BO (Berlin, 1934)
- Besser, F.:* Über die Aufstellung von Bremsstufen (Organ, 1929. 11.)
- Die Bremsen für Eisenbahnfahrzeuge (Wien, 1891)
- Führ., A.:* Die wesentlichsten Mängel der selbsttätigen Saugluft-Schnellbremse (Glaser's Annalen, 1919. 1006)
- Heller, György.:* Vasúti járművek fékezési elmélete (Mérnöki Továbbképző Intézet, 1954)
- Heller, György.:* Sur les caractéristiques de freinage véhicules de chemin de fer (az „Acta Technica” akadémiai folyóirat 1955 évi 1.-2. számában francia nyelven megjelent tanulmány)
- Heller, György. - Rosta, László.:* Recherches sur le détermination du poids-frein des locomotives (az „Acta Technica” akadémiai folyóirat 1957 évi 1.-2. számában francia nyelven megjelent tanulmány)
- Heller, György. - Rosta, László.:* Mozdonyok fékberendezésének méretezése (Járművek és Mezőgazdasági Gépek, 1957. 1.)
- Vasútüzemi kézikönyv (Közdok, 1960, többszerzős könyv egyik társszerzője)
- Heller György.:* Vasúti fékezés (Műegyetemi jegyzet, 1961)
- Heller, György - Rosta, László.:* Nagyérzékenységű fékberendezések (Járművek és Mezőgazdasági Gépek, 1961.11.)
- Heller, György - Rosta, László.:* Fékezési üzemtan (Mérnöki Továbbképző, 1961.)
- Heller, György.:* Fékes teherkocsik arányának szerepe a zavartalan vonatképződésben (Doktori értekezés, 1962)
- Heller, György.:* A vasúti fékberendezések üzemének és karbantartásának korszerűsítése (TIT, 1964 / 65)
- Heller, György.:* Vasúti fékezés (Műegyetemi jegyzet, 1965)
- Heller, György - Rosta László.:* Néhány gondolat a vasúti fékezési technika jövőjéről (Közlekedéstudományi Szemle, 1965.11.)
- Heller, György - Rosta, László.:* Hauptcharakteristiken für die Bremsenrichtung an Triebfahrzeugen (OSShD-Zeitschrift, 1967. 6.)
- Heller, György - Rosta, László.:* Vasúti légnymásos fékek légveszteségének kérdései (Közlekedéstudományi Szemle, 1968. 3.)
- Heller, György.:* Légnymásos fékek energiakérdései a korszerű vasútüzem tükrében (Közlekedéstudományi Szemle, 1969. 3.)
- Heller, György.:* Vasúti fékezés (Műegyetemi jegyzet, 1969)
- Heller, György.:* Vasúti fékberendezések III. (MÁV Tisztviselői Intézet jegyzete, 1970)



- Heller, György: Bremsanlagen für schnellfahrende Lokomotiven (OSShD-Zeitschrift, 1970. 6.)*
- Vasútüzemi kézikönyv (Közdok, 1970, többszerzős mű egyik társszerzője)*
- Heller, György - Rosta, László: Bremswirkung von Eisenbahnfahrzeugen mit nichttraditionellen Bremsystemen („Nahverkehrspraxis“ folyóirat, 1971. 6.)*
- Heller, György - Vajda, József: Bremsklötze aus traditionellem und aus P14-Gusseisen („Glaser's Annalen“ folyóirat, 1973. 2./3.)*
- Heller, György: A fékezéstechnika jövője a MÁV-nál (Közlekedéstudományi Egyesület kollokviuma, 1974.)*
- Heller, György: Motorokcsik és motorvonatok fék- és pneumatikus berendezései a vasútüzemi követelmények tükrében (GTE Tudományos konferencia, 1976)*
- Heller, György: Féktechnikai lehetőségek a vonatok hosszdinamikájának megjavítására (A BME Közlekedési Mérnöki Karának 25 éves jubileuma alkalmából megjelent kötet számára írt tanulmány)*
- Heller, György: Erfahrungen der MÁV bei der Anwendung phosphorlegierter Graugussbremssohlen (Az OSShD-Zeitschrift 1976. 5. számára német nyelven írt, de orosz és kínai nyelven is megjelent tanulmány)*
- Heller, György: - Vajda József: Eisenbahn-Bremsbetrieb auf Gefällestrecken („Glaser's Annalen“ 1978. 2.)*
- Vasúti járművek III. (többekkel együtt társszerzőként írt műegyetemi jegyzet, 1978)*
- Reibversuche mit Prüfstäben aus Bremsklotz Gusseisen (az ORE B 146 sz. Munkabizottság számára többekkel együtt német nyelven készült tanulmány 1978)*
- Heller György - Vajda József: Novij metod dlja raszcsete i proverki tormoznij tablice („Periodica Politechnica“ 6 / 2. kötet, 1978.)*
- Heller, György - Vajda, József: Schwungmassen-Bremsprüfstand der MÁV (OSShD-Zeitschrift 1979. 1. számára német nyelven írt, de oroszul és kínaiul is megjelent tanulmány)*
- Heller, György: The effect of phosphorus in cast iron brake blocks (az IME York-i konferenciájára készült, angolra fordított anyag, 1979)*
- Heller, György: A vasúti fékezés mint futástechnikai jelenség (KTE konferencia, 1979)*
- Heller, György: A légfék kezelhetősége mint a vasútüzem hatékonyságát előmozdító tényező (KTMF Tudományos Közlemények, 1981.)*
- Heller, György - Vajda, József: Über die Wirksamkeit der Gusseisen-Klotzbremse („Glaser's Annalen“, 1981. 10.)*
- Heller, György - Vajda, József: A Nemzetközi Vasútegylet által használt „féksúly” fogalom egyes kérdései (Közlekedéstudományi Szemle, 1982. 5.)*
- Heller, György: Grenzmöglichkeiten der europäischen Normalspur-Bremstechnik (Krakkói konferencia anyaga, 1983)*
- Heller, György: Vasúti járművek futási sebessége negatív értékű szabályozásának tribológiai vonatkozásai (IV. Futástechnikai Szeminárium, 1983.)*

- Heller György*: Geschichte des UIC-UA „Bremswesen“ (Az UIC-Fékalbizottság felkérésére német nyelven írt, 100 stenciles példányban kiadott rendkívül terjedelmes anyag, melyet 1985-ben legnagyobbbrészt az UIC Féalbizottság elnöke osztott szét az érdekeltek között, s aminek lényegi része az Albizottság 200. Jubileumi ülésének jegyzőkönyvébe is változtatás nélkül került be)
- Heller György*: Vasúti lexikon (Műszaki Könyvkiadó, 1984, sokakkal együtt)
- Heller, György*: Fejezetek a vasúti fékezés történetéből egy magyar féktehnikus szemüvegén keresztül (MHMb-Évkönyv, 1986)
- Heller, György*: Fejezetek a vasúti fékhatás elbírálásának történetéből, különös tekintettel az UIC-Fékalbizottság első 60 évére (1924-1984) (MHMb-Évkönyv, 1989)
- Heller, György*: Vasúti fékezés az idők sodrában (Vasúthistória könyvek, 1998)
- Heller, György*: Fékútszámítás lehetősége és jelentősége a vasúti üzemben („Vasútgépészet” 2001. 3.)
- Heller, György*: Vasúti fékbiztonság = erő kifejtés + parancskiadás és parancstovábbítás + emberi tevékenység és felelősség + szerencse („Vasútgépészet”, 2002. 1.)
- Hildebrand, W.*: Die Entwicklung der selbsttätigen Einkammer-Druckluftbremse bei den europäischen Vollbahnen (Berlin, Verlag Springer, 1927 / 1939)
- Kirschstein, H.*: Die Bremstechnik bei den Eisenbahnen der Vereinigten Staaten von Amerika (Archiv für Eisenbahntechnik, 1962, Folge 17.)
- Kirschstein, H.*: Ursprung, Wege und Grenzen der Eisenbahnbremstechnik und deren Wechselbeziehungen zur Eisenbahnbremsentwicklung (Archiv für Eisenbahntechnik, Folge 21., 1966.)
- Neher, F.L.*: Fünfzig Jahre Knorr-Bremse (Knorr-Bremse, Berlin-München, 1955)
- Péchat*: Französische Studien zur Einführung der durchgehenden Saugluft-Güterzugbremse (Organ, 1920)
- Saumweber, E.*; - *Gerum, E.*; - *Berndt, P.J.*: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse (Archiv für Eisenbahntechnik, 43)
- Sauthoff*: Über die Möglichkeit zur Berechnung der Bremswege von Eisenbahnfahrzeugen („Glaser's Annalen”, 1961. 2.)
- Selz*: Bremsstoffuntersuchungen bei der Deutschen Reichsbahn („Organ”, 1943, 13/14.)
- Stockert, L.*: Eisenbahnunfälle (Leipzig, Engelmann Verlag, 1913.)
- UIC-Kodex: 544-1 (V)* (4. kiadás, 2004 május)