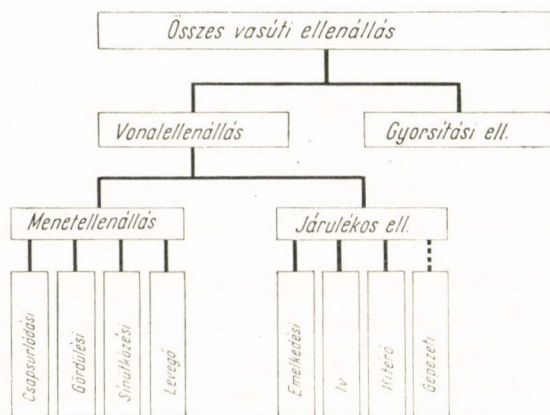


A HEVEDERES SÍNILLESZTÉSNEEL FELLEPO TOBBLETELLENALLAS MEGHATAROZASA

I. Bevezetes

A vasuti uzem lebonyolitasanak, a vonatmozgasok helyes iranyitasanak nelkulozhetetlen segedeszkoze a *menetdiagram*, amely mind a sebesség es a menetido, mind pedig az uzemanyagfogyasztas pontos meghatarozasának alapjat kepezi. A menetdiagramok a palya- es allomasi felujitasok tervezese soran is mind nagyobb jelentoseget kapnak, elsosorban a nyilt vonal magassagi vonalvezetesének kialakitasaval, valamint a rendezopalyaudvarok esesviszonyainak, a gurított kocsik mozgásvizonyainak meghatarozásával kapcsolatban. Minden ezzel kapcsolatos dinamikai számítás vagy szerkesztés legfontosabb kiinduló adatai a *vasuti ellenállások*, tehát azok az erők, amelyekkel szemben a vonóerő a járművet mozgásban tartja. A vonóerők es ellenállások, illetve ezek munkájának viszonya szabja meg a vonat mozgásának változását.

A vasuti járművekre ható összes ellenállás igen sok tényezőből tevődik össze, amelyet a mellékelt I. ábra jól szemléltet.



I. ábra A vasuti ellenállások csoportosítása

A *menetellenállás* az egyenes, vízszintes pályán szélcsendben, állandó sebességgel haladó vasuti jármű összes ellenállása. Ezt az ellenállást a hazai szakirodalom sok helyen — rendszerint külföldi fordítások alapján — futási ellenállásnak, alapellenállásnak is nevezi. A menetellenállás tehát a vasuti jármű legfontosabb ellenállása, amely annak mozgásakor mindig fellép. A menetellenálláshoz a pályaviszonyoktól függően egyéb ellenállásfajták is hozzáadódnak, amelyeket gyűjtőnéven *járművekes ellenállásoknak* nevezhetünk.

A járulékos ellenállások csoportjába tartozik az *emelkedési ellenállás* és az *ívelenállás* vagy kanyarulati ellenállás. Ide sorolható a rendezőpálya-udvarok gurítódombjáról leguruló kocsiknál figyelembe veendő *kitérőellenállás*, valamint a vontatójárművek *gépezeti ellenállása* is.

A fenti ellenállásfajták mind állandó sebességgel mozgó járműre vonatkoznak. Gyorsuló mozgás esetén — indításkor, gyorsításkor — egy újabb többletellenállás, az *indítási*, vagy *gyorsítási ellenállás* is fellép.

A járulékos ellenállások közül az *emelkedési ellenállás* igen egyszerű mechanikai összefüggés alapján pontosan meghatározható. Az *ívelenállás* pontos meghatározása ennél sokkal nehezebb feladatot jelent s a korábban meghatározott sokévtizedes gyakorlati képletek (*Röckl, Protopapadakis, Hoffmann, Hiller, Parodi* stb.) a járművek futóműveinek fejlődése és a nagysebességű pályák megváltozott nyomtávolságviszonyai miatt (nyomszűkítés, 1 : 40-es síndőlés stb.) ma már igen vitatható pontosságú eredményeket adnak. Egyes külföldi kutatók (*Schramm*) ez irányban igen szerteágazó tudományos munkásságot fejtenek ki és e téren a hazai kutatómunka is folyamatban van. A változó sebességnél fellépő *gyorsítási ellenállás* meghatározása elméleti úton szintén egyszerűen és egyértelműen végrehajtható.

E tanulmány a vasúti ellenállások vizsgálatát a legtöbb problémát adó *menetellenállásra* szűkíti le.

2. A menetellenállás összetevői

Már a vasutak tervezésének és építésének kezdeti korszakában is foglalkoztak az előzőekben vázolt ellenállási értékek meghatározásával. Az elméleti kutatások már sok évtizeddel ezelőtt is azt mutatták, hogy a fajlagos ellenállási értékek meghatározása s olyan gyakorlati képletek bevezetése, amelyek az egyes járműtípusokra nézve általánosíthatók, megbízhatóan csak *kísérlet-sorozatokat* útján történhet.

A kísérletekből kapott adatok képletbefoglalásakor azonban a kutatók az egyes ellenállások elméleti alapját, azok összetevőit igyekeztek meghatározni. Különösen nehéz feladatot jelentett ez a menetellenállás esetében, amelynek előidéző okai között számos, a jármű és a pálya szerkezeti kialakításától függő, tág határok között változó tényező is van.

A továbbiakban részletesebben tárgyalom a menetellenállás részellenállásainak meghatározását, csoportosítását.

Az idevonatkozó magyar szakirodalmat áttekintve megállapítható, hogy *Kisfaludi-Lipthay Sándor* professzor 1885-ben megjelent Vasútépítéstan c. könyvében, amely az első magyar nyelvű összefoglaló vasútépítési munkának tekinthető, már felhasználja a franciák (*Dieudonné, Vuillemin* és *Guébard*), valamint a németek és az osztrákok kísérleti eredményeit s a gyakorlati menetellenállási képletek megállapításánál ezeket elsőrendű fontosságúaknak tartja. A menetellenállásokat az alábbi részellenállásokra bontja:

1. *Csapásúrlódási ellenállás*, amely a csapágyban a csap és a csésze között fellépő súrlódási ellenállásokat jelenti.
2. *Gördülési ellenállás*, amely a kerekek és a sín felületének terhelés alatti benyomódásából keletkezik.
3. *Légellenállás*, amely a nyugodt levegőben haladó jármű felületén lép fel.
4. *Szél hatására keletkező ellenállás*, amely ellenszél vagy oldalszél esetén keletkezik.

5. *A kerék felületén fellépő egyéb ellenállások*, amelyek a jármű szabálytalan — kigyózó, bólintó és támolygó — mozgásaiból keletkeznek.

Több évtizeddel később *Zelovich Kornél* professzor [13] az előző felosztásból csupán a *csapsúrlódási ellenállást, a gördülési ellenállást és a levegő ellenállást* tekinti a menetellenállás részellenállásainak. Munkájában foglalkozik a vasúti járművek szabálytalan járásával, a kigyózó, bólintó és a támolygó menettel, azonban véleménye szerint az ezekből keletkező ellenállás-komponenseket elméleti úton meghatározni nem lehet s azokat csak kísérleti úton közelíthetjük meg. A kísérleti eredményekből nyert képleteknél ezt az ellenállásfajtát a gördülő ellenállás értékében veszi figyelembe. Véleménye szerint azonban az e hatások következtében keletkező ellenállásnak a sebességgel négyzetes arányban kellene növekednie, így egyértelműen nem oldja meg a problémát.

Az előzőkkel teljesen azonos módon foglalkozik a menetellenállások részellenállásaival *Dr. Jáky József* professzor is és az egyetemi tananyagban évtizedeken keresztül ez a tárgyalásmód szerepelt. [3, 6, 8]

Az elmúlt évtizedekben a *külföldi szakirodalom* is hasonló értelemben foglalkozott ezzel a kérdéssel. Így *Wilhelm Müller* közismert alapvető munkájában a menetellenállás összetevőit az alábbiakban adja meg: [10]

1. *a mozdony gépezeti ellenállása,*
2. *csapsúrlódási ellenállás,*
3. *gördülési ellenállás,*
4. *maradéktag,*
5. *levegő ellenállás.*

Új tagként jelentkezik itt az ún. „maradéktag” (Restglied), amely *Müller* szerint a vágány állapotára, a sínillesztések hatására és a kocsiknak a járművek szerkezetéből előálló szabálytalan egyedi mozgásaira vezethető vissza. Ugyanakkor azonban, amikor a másik négy részellenállás számszerű értékeit elméleti vizsgálatokkal támasztja alá, a „maradéktag”-ot *Müller* sem tárgyalja részletesen, csupán annyit állapít meg róla, hogy a sebességgel egyenes arányban változik. Végeredményben tehát e felosztásnál — *Kisfaludi-Lipthay*hoz és *Zelovich*-hoz hasonlóan — már említés történik a pálya egyenetlenségeiből, a sínillesztésekből származó részellenállásról, de számszerűen, elméletileg e tag nincs meghatározva.

Babicskov és Jegorczenko szovjet kutatók munkájukban az alábbi felosztást adják a menetellenállás részellenállásaira vonatkozóan: [1]

1. *csapsúrlódási ellenállás,*
2. *gördülési ellenállás,*
3. *levegő ellenállás,*
4. *a kerék csúszó súrlódása a síneken,*
5. *az ütésekől és a jármű szabálytalan mozgásából adódó lendületvesztések.*

A felosztásban az 1—3. részellenállások megegyeznek a korábbi klasszikusnak mondható ellenállás összetevőkkel, újszerű azonban a 4. és 5. alattiak tárgyalása.

Hans Nordmann összefoglaló jellegű munkájában [11] szintén az előzőkben részletezett csoportosítást veszi alapul azzal, hogy a csapsúrlódáson felül,

a pálya egyenetlenségeiből és a jármű szabálytalan mozgásából keletkező részellenállási tagot „mozgási ellenállás”-nak (Bewegungswiderstand) nevezi.

E néhány hazai és külföldi tudományos munka — köztük közismert, általánosan elfogadott és a vonatkozó szaktudományok alapjául vett mű — idevonatkozó fejezetei egyértelműen igazolják, hogy hosszú évtizedeken keresztül a menetellenállások részellenállásának tartották:

1. a csapsúrlódási ellenállást,
2. a gördülési ellenállást és
3. a levegő ellenállást.

Ezeket elméletileg is meghatározták. Valamennyi említett szerző érezte azonban, hogy a fenti 3 részellenállás mellett még *kell egy további tagnak is lennie*, amelyet a pálya felépítményének egyenetlenségei, a sínillesztések, a járművek szabálytalan mozgásai stb. hoznak létre. E tagot azonban — éppen a létrehozó tényezők sokfélesége miatt — nem definiálták elméletileg s különböző elnevezésekkel látták el. Minthogy pedig a menetellenállási képleteket kísérleti úton határozták meg s ezek a jelenségek a kísérleti pályákban is mindig fennálltak — így hatásuk a mérési eredményekben jelentkezett — az elméleti meghatározás hiánya nem volt észrevehető.

3. A sínütközési ellenállás elméleti meghatározása

Az előzőekben felsorolt tényezők közül az utóbbi évtizedben különös jelentőséget kapott a hevederes — tehát terjeszkedési hézaggal kiképzett — sínillesztéseknél fellépő ellenálláshányad, minthogy a hézag nélküli, hegesztett felépítmény bevezetése folytán az illesztési hézagok megszűnnek s így a menetellenállás összértékének természetesen csökkennie kell.

Ezt a részellenállást a továbbiakban „*sínütközési ellenállás*”-nak nevezhetjük s e tanulmány ennek elméleti és kísérleti meghatározásával foglalkozik [7].

A külföldi és hazai szakirodalomban ennek a részellenállásnak vizsgálatával nem találkozhatunk, mindössze *Nyikolajev és Tretyakov* szovjet szerzők 1950-ben megjelent munkájukban [12] tárgyalják külön a hevederes illesztéssel és dilatációs hézaggal kiképzett vágányokon az illesztéseknél fellépő ütközési ellenállást, amelynek egy egyszerű *tapasztalati képletét* adják meg, elméleti indokolás nélkül.

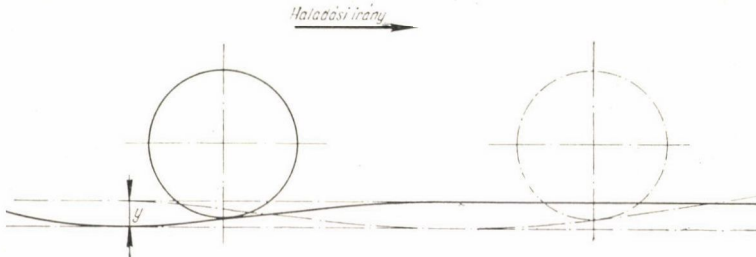
Az illesztési hézagon átgördülő járműkerék szabatos gördülését az alábbi tényezők befolyásolják:

- a) Terjeszkedési hézag a sínvégek között;
- b) Függőleges lépcső a sínvégek között;
- c) Vízszintes lépcső a sínvégek között.

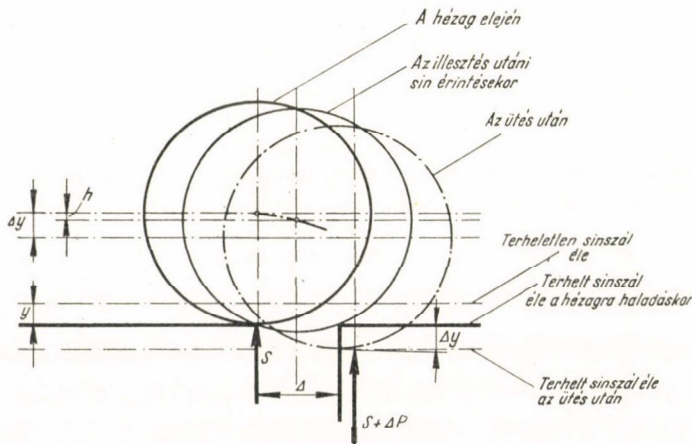
Ezek közül az a) alatti terjeszkedési hézag — a nagy nyári melegben bekövetkező sínvégösszeháródástól eltekintve — mindig megvan, míg a másik kettő, együttesen vagy külön-külön, kisebb vagy nagyobb mértékben, a felépítmény rendszerétől, fenntartottsági állapotától függően változik.

a) *Terjeszkedési hézag a sínvégek között*

A rugalmas alátámasztású sínszál az álló kerék terhelése alatt is lehajlik és a kerék egy besüllyedésében, hullámvölgyben áll. E besüllyedés mértéke 1,6 — 2,4 mm, átlagosan 2 mm. Ez a hullám természetesen a futó kerék alatt is létrejön, úgy, hogy azzal együtt továbbhalad, ami azt jelenti, hogy a kerék mindig a hullám emelkedő, felfelé mutató ágára igyekszik felfutni (2. ábra). Jól fenntartott hevederes illesztésnél e hullám miatt függőleges lépcső nem keletkezik, minthogy a sínvégek közötti Δ hézag mérete eltörpül a sínhosszhoz, illetve a hullám hosszához képest.



2. ábra Hullámképződés a jármű kereke alatt



3. ábra A járműkerék helyzete a terjeszkedési hézagon való átugráskor, kis sebesség esetén ($v < v_0$)

Amidőn a kerék ráfut az illesztésre, a hézagba való beesés miatt a besüllyedés y méretén túlmenően a sínvégek tovább süllyednek, amelynek mértékét a 3. ábrán Δy -nal jelöltem.

A felépítmény rugózási együtthatója:

$$r = \frac{S}{y},$$

ahol:

r = a felépítmény rugózási együtthatója, [kp/cm]

S = keréksúly, [kp]

y = besüllyedés, [cm].

Az előző 3. ábra alapján megállapítható, hogy az állandó y besüllyedés az álló kerék S súlyával, míg a Δy változó besüllyedés a keréknek a hézagon való átugrásakor keletkező ΔP többleterővel arányos:

$$\frac{y}{S} = \frac{\Delta y}{\Delta P} = \frac{y + \Delta y}{S + \Delta P}.$$

Ebből ΔP számítható. Minthogy az állandó S keréksúly hatására keletkezett y besüllyedés álló és mozgó kerekeknél egyaránt állandóan megvan, elegendő a továbbiakban a ΔP erővel, illetve a Δy besüllyedéssel foglalkozni. Ezért a koordinátarendszert eltolva, y -t nem vesszük figyelembe, $y = 0$.

α) A terjeszkedési hézagon átgördülő kerék vizsgálata kis sebességnél

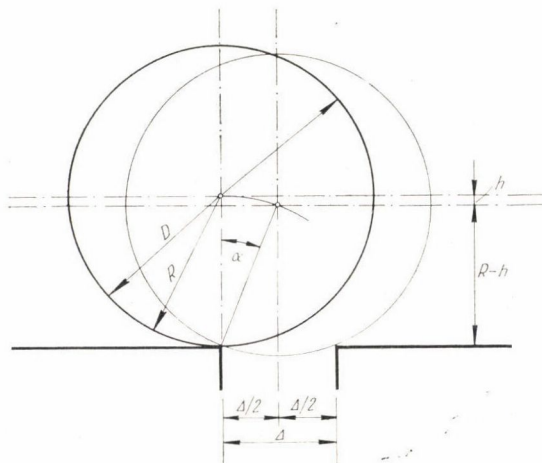
A 4. ábrán a fenti egyszerűsítés alapján a hézagon átugró kerék geometriai viszonyait tüntettem fel. A kerék középpontja egy R sugarú köríven mozog és az illesztés utáni sínvég érintésekor a középpont a hézag közepe fölött van (az ábrán vékony vonallal ábrázolt helyzet).

A 4. ábra alapján:

$$\sin \alpha = \frac{\Delta}{2R} = \frac{\Delta}{D}; \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{\Delta^2}{D^2}} = \frac{1}{D} \sqrt{D^2 - \Delta^2}.$$

A kerék esési magassága:

$$h = R - R \cos \alpha = R - \frac{\sqrt{4R^2 - \Delta^2}}{2},$$



4. ábra A terjeszkedési hézagon átugró járműkerék geometriai helyzete

ahol:

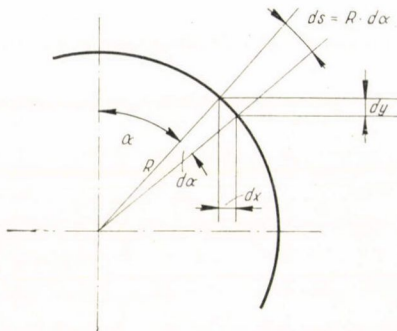
$$\begin{aligned} \Delta &= \text{terjeszkedési hézag, [cm]} \\ D &= \text{kerékátmérő, [cm]} \\ R &= \text{keréksugár, [cm]} \\ h &= \text{esési magasság, [cm]}. \end{aligned}$$

Az alábbi vázlat szerint meghatároztam a kerék beesésének irányába eső függőleges s'_y sebességet:

$$dy = \sin \alpha ds = R \sin \alpha d\alpha; \quad dx = \cos \alpha ds = R \cos \alpha d\alpha.$$

Vízszintes, tehát haladási irányban a sebesség állandó:

$$\frac{dx}{dt} = s'_x = \frac{R \cos \alpha dx}{dt} = \text{const.}$$



5. ábra Vázlat a s_y sebesség meghatározásához

Innen:

$$dt = \frac{R \cos \alpha dx}{s'_x}$$

$$s'_y = \frac{dy}{dt} = \frac{R \sin \alpha dx}{R \cos \alpha dx} s'_x = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} s'_x = \frac{\Delta}{\sqrt{4R^2 - \Delta^2}} s'_x.$$

Célszerű a képletben szereplő vízszintes irányú haladási sebességet — a gyakorlatnak megfelelően — v km/órában behelyettesíteni. Így az esési sebesség végeredménye:

$$s'_y = \frac{100 \Delta v}{3,6 \sqrt{4R^2 - \Delta^2}} \quad (1)$$

Az illesztési hézagba beeső kerékpár mozgási energiája, a s'_y ismeretében: (Q'_{tr} = a rugózatlan tengelysúly [kp])

$$L_y = \frac{m s_y'^2}{2} = \frac{m}{2} \left(\frac{100 \Delta v}{3,6 \sqrt{4R^2 - \Delta^2}} \right)^2 = \frac{Q'_{tr}}{2 \rho} \frac{10\,000 \Delta^2}{3,6^2 (4R^2 - \Delta^2)} v^2. \quad (2)$$

A L_y ismeretében a H cm távolságra levő sínillesztéseknél fellépő ellenállás meghatározható:

$$E_{\ddot{u}} = \frac{L_y}{H} = \frac{Q'_{tr} 10\,000 \Delta^2}{2g \cdot 3,6^2 (4R^2 - \Delta^2) H} v^2 \text{ [kp]} \quad (3)$$

A fajlagos érték meghatározásához a (3.) képletet az egy tengelyre jutó teljes súllyal, azaz a Q_t [Mp] tengelynyomással kell osztanunk, minthogy az egész számítás egy tengelyre és nem az egész járműre nézve végeztem: ($Q_{tr}/Q_t \cong \cong 1/10$)

$$\mu_{\ddot{u}} = \frac{E_{\ddot{u}}}{Q_t} = 0,393 \frac{\Delta^2}{(4R^2 - \Delta^2)H} v^2 \text{ [kp/Mp]} \quad (4)$$

$\beta)$ A jármű rugózásának hatása

A jármű rugózása a terjeszkedési hézagba történő beesés során növeli a nehézségi erő okozta gyorsulást.

A kerékpár esési sebessége:

$$s = bt$$

A képletben szereplő b gyorsulás a nehézségi gyorsulásból és a rugóerők okozta gyorsulásból tevődik össze:

$$b = g + \Delta b$$

A Δb értéke nem állandó, hanem a tengely függőleges irányú mozgásaitól függ:

$$P_{r0} = \frac{P_r + (P_r - \Delta P_r)}{2} = \frac{2P_r - \Delta P_r}{2},$$

ahol:

P_{r0} = átlagos rugóerő

P_r = rugóerő

ΔP_r = a rugóerő változása a terjeszkedési hézagon átugráskor.

$$\Delta P_r = ch,$$

ahol:

c = a jármű hordrugójának rugóállandója

h = a kerékpár esési magassága.

A rugóerők által okozott gyorsulás, tengelyenként 2 rugó esetén:

$$\Delta b = 2 \frac{P_{r0}}{m} = 2 \frac{2P_r - ch}{2 \cdot m} = \frac{2P_r - ch}{Q'_{tr}} g.$$

Egy rugó rugóereje a hézagra futáskor:

$$P_r = \frac{Q'_t - Q'_{tr}}{2}$$

A c átlagos értékét, $c = 2000$ kp/cm-t behelyettesítve:

$$\Delta b = \frac{\left[Q'_t - Q'_{tr} - 2000 \frac{1}{2} (2R - \sqrt{4R^2 - \Delta^2}) \right] g}{Q'_{tr}} \quad (5)$$

Mint hogy azonban a $ch = 2000 \frac{1}{2} 2R - \sqrt{4R^2 - \Delta^2}$ érték a fenti (5) egyenlet többi tagjához képest igen kicsiny, így elhanyagolható:

$$\Delta b = \frac{(Q'_t - Q'_{tr})g}{Q'_{tr}} \quad (6)$$

E közelítés előnye, hogy a c rugóállandó értéke kiesett, s így a kapott eredmény a járművek egyedi rugózási tulajdonságaitól független.

γ) A terjeszkedési hézagban átgördülő kerék vizsgálata nagy sebességnél.

Nagyobb v menetsebességnél a tengelyközéppont nem körív mentén mozog, amint azt az előzőekben tárgyaltam. Ilyen esetben a tengelyközéppont egy *parabolikus pályán* mozog, melynek összetevői a v vízszintes sebességű mozgástól és a hézagba beesés mozgásától függenek, mely utóbbinak gyorsulását az előző 6. képletben már meghatároztam.

Az alábbi 6. ábra jelölései alapján az esési magasság:

$$h' = \frac{b}{2} t^2 = \frac{g + \Delta b}{2} t^2$$

Az ábrán azt is feltüntettem, hogy ideális esetben a hézagban való átugráskor a felépítmény rugóállandójának is szerepe lehet. A sínvégek a lelépő kerék okozta tehermentesülése — a sínanyag rugalmassága folytán — a bal oldali sínvég felemelkedését eredményezheti. Ha a sínzsalat tömegnélküli vonalnak tetelezzük fel, ez a tehermentesülés következtében bekövetkező felemelkedés a kerék lelépésével egyidőben oly módon következne be, hogy a felemelkedő sínvég a kerékkel mindaddig érintkezésben maradna, amíg a kerék a következő — jobboldali — sínre fel nem lépett. Ezt a helyzetet tünteti fel a 6. ábra b kerékhelyzete.

A tényleges felépítménynél ez a sín tömegének tehetetlensége folytán nincs így és a kerék az γ állandó besüllyedés helyzetében (l. 3. ábra) levő sínről lelépve csak akkor jut érintkezésbe a következő sínvéggel, amidőn tengelyközéppontja a terjeszkedési hézag függőleges felezővonalát (l. 6. ábra) már meghaladta.

A sínzsaltnak a korábbi 4. ábrán már bemutatott terhelés alatti alakja is alátámasztja azt a megállapítást, hogy a sínvégeket a kerék átugrásakor elméletileg azonos magassági szintűnek tekinthetjük és az említett tehermentesülés következtében előálló visszarugózásnál az átugrás pillanatában nem kell számolnunk.

Ilyen esetben tehát a tengelyközéppontnak a 6. és 7. ábrákon bejelölt mozgásvonala parabola.

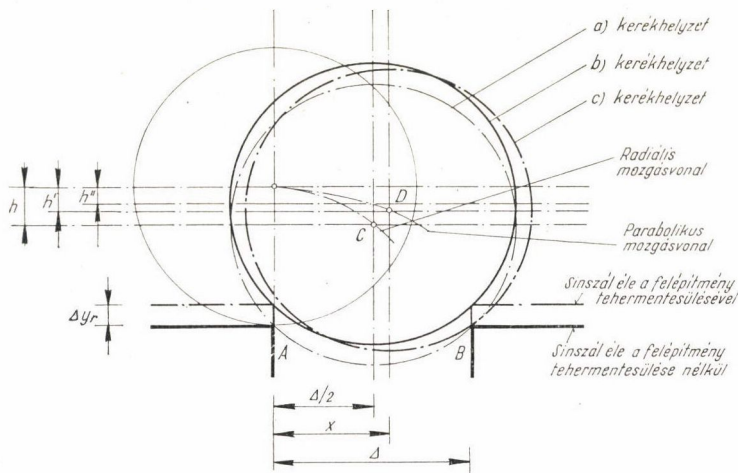
A kerékpár esési sebessége:

$$s'_y = bt = (g + \Delta b)t = \frac{(g + \Delta b)3,6 x}{100 v}$$

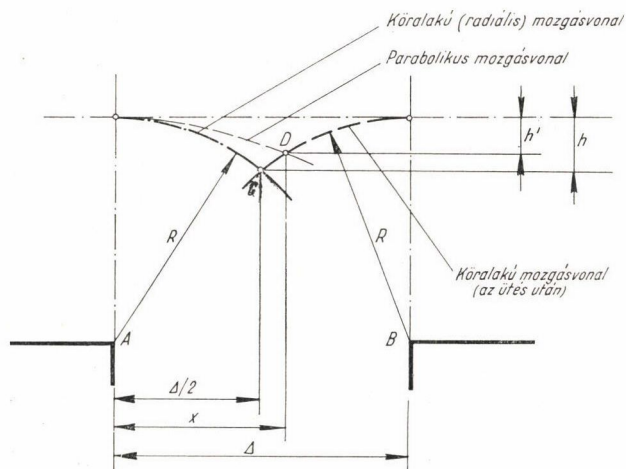
minthogy:

$$t = \frac{3,6x}{100v},$$

ahol: x = a 6. és 7. ábrákon értelmezett távolság



6. ábra A járműkerek helyzete a terjeszkedési hézagon való átugráskor, nagy sebesség esetén ($v > v_0$)



7. ábra A tengelyközpont mozgásvonalai

A Δb korábban meghatározott, (6.) képlet szerinti értékét behelyettesítve:

$$b = g + \Delta b = g + \frac{(Q'_t - Q'_{tr})}{Q'_{tr}} g = g \frac{Q'_t}{Q'_{tr}}.$$

Így:

$$s'_y = bt = \frac{3,6(g + \Delta b)x}{100 v} = \frac{3,6 g Q'_t x}{1000 Q'_{tr} v} \quad [\text{cm/sec}] \quad (7)$$

A mozgási parabola az alábbi egyenlettel egyértelműen meghatározott:

$$h' = \frac{b}{2} t^2 = \frac{b}{2} \frac{3,6^2 x^2}{100^2 v^2} \quad (8)$$

A kerék mozgása szempontjából van egy olyan v_0 *határsebesség*, amely a tengelyközéppont mozgásánál az előzőkben tárgyalt körívalakú és a parabolaalakú mozgásvonalak közötti átmenetet jelenti. E határhelyzetben: $x = \Delta/2$. Tehát:

$$h' = \frac{b}{2} \frac{3,6^2 \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2}{100^2 v_0^2} \quad (9)$$

A mozgási görbének a 7. ábrán bejelölt D ponttól jobbra levő második, emelkedő része a (7.) képlet szerint határozható meg:

$$h' = \frac{b}{2} \frac{3,6^2 (\Delta - x)^2}{100^2 v_0^2}$$

Természetesen a D pontban a (8.) és (9.) egyenleteknek azonos h' értékeket kell adniok:

$$h' = \frac{b}{2} \frac{3,6^2 x^2}{100^2 v^2} = \frac{b}{2} \frac{3,6^2 (\Delta - x)^2}{100^2 v_0^2}$$
$$\frac{x}{v} = \frac{\Delta - x}{v_0}$$

Az x távolság meghatározása:

$$x = \frac{\Delta v}{v_0} - \frac{xv}{v_0}$$
$$x = \frac{\Delta v}{v_0 + v}$$

Az esési sebesség a korábbi (7.) összefüggés szerint:

$$s'_y = \frac{3,6 g Q'_t \Delta}{100 Q'_{tr} (v_0 + v)} \quad (10)$$

Az illesztési hézagba nagy sebesség esetén beeső kerékpár által végzett munka, függőleges irányban:

$$L_y = \frac{m}{2} s'^2_y = \frac{m}{2} \frac{3,6^2 g Q_t'^2 \Delta^2}{100^2 Q_{tr}'^2 (v_0 + v)^2}$$

Egyszerűsítve:

$$L_y = \frac{3,6^2 g Q_t'^2 \Delta^2}{2 \cdot 10000 Q_{tr}' (v_0 + v)^2} \quad [\text{cmkp}] \quad (11)$$

A H cm távolságra levő sínillesztéseknél fellépő ellenállás:

$$E_{\ddot{u}} = \frac{3,6^2 g Q_t'^2 \Delta^2}{2 \cdot 10000 Q_{tr}' (v_0 + v)^2 H} \quad [\text{kp}] \quad (12)$$

A fajlagos érték, Q_t Mp-vel osztva és egyszerűsítve:

$$\mu_{\ddot{u}} = \frac{E_{\ddot{u}}}{Q} = 63,57 \frac{\Delta^2}{(v_0 + v)^2 H} \quad [\text{kp/Mp}] \quad (13)$$

δ) A határsebesség megállapítása:

E sebességnél a s'_y -ra vonatkozóan a kis és nagysebességű esetekre megállapított (1.) illetve (10.) valamint a munkára vonatkozó (2.) illetve (11.) képleteknek meg kell egyezniük:

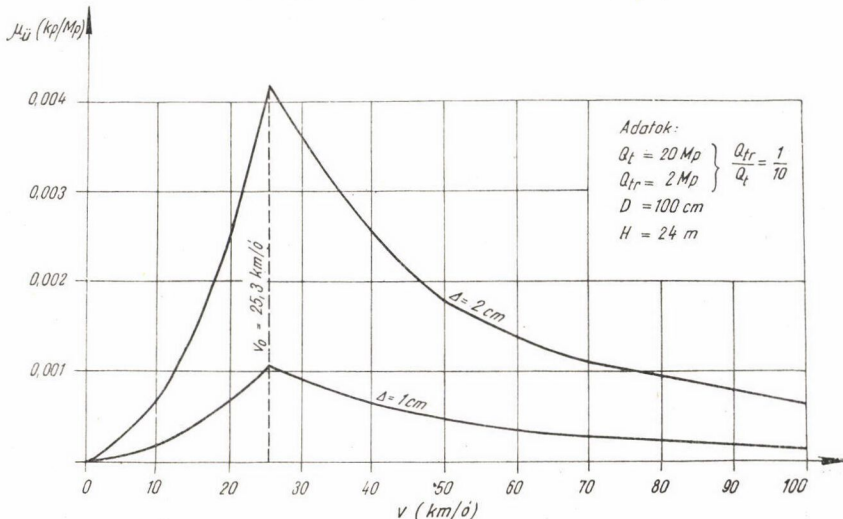
$$s'_y = \frac{100 \Delta v}{3,6 \sqrt{4 R^2 - \Delta^2}} = \frac{3,6 g Q_t' \Delta}{100 Q_{tr}' (v_0 + v)}$$

Mínt hogy a kritikus sebességnél $v = v_0$

$$\frac{100 \Delta v_0}{3,6 \sqrt{4 R^2 - \Delta^2}} = \frac{3,6 g Q_t' \Delta}{100 Q_{tr}' 2 v_0}$$

innen:

$$v_0 = \sqrt{\frac{3,6 g Q_t' \Delta \sqrt{4 R^2 - \Delta^2}}{100 Q_{tr}' 2 \cdot 100 \Delta}} = 0,797 \sqrt{\frac{Q_t'}{Q_{tr}'}} \sqrt{4 R^2 - \Delta^2}$$



8. ábra A terjeszkedési hézagon átugró kerékpár fajlagos többletellenállása, azonos magassági szintben fekvő sínvégek esetén

Mint ahogy $\Delta^2 \ll R^2$, az alábbi egyszerűsítés megengedhető, s így egy jól használható képletet kapunk:

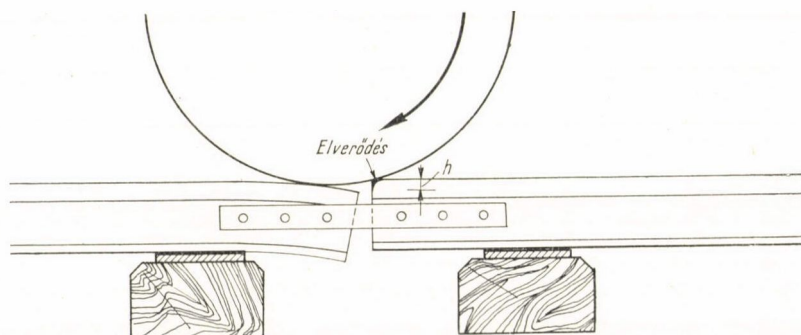
$$v_0 \approx 0,8 \sqrt{\frac{Q_t^2 R}{Q_{tr}}} \text{ [km/ó]} \quad (14)$$

A terjeszkedési hézagon átugró kerékpár elméleti vizsgálatát az előbbi 8. ábrában összegeztem. Kiszámítottam egy, az ábrán feltüntetett adatokkal jellemzett átlagos járműkerékpár fajlagos többletellenállását, amely $\Delta = 1$ cm és $\Delta = 2$ cm terjeszkedési hézagon való átugráskor keletkezik, feltételezve, hogy — az előző részletes tárgyalás szerint — a sínvégek magassági helyzete az illesztésnél változatlan.

A számítás eredménye szerint az itt keletkező többletellenállás csekély mértékű, különösen nagy sebességek esetén.

b) Függőleges lépcső a sínvégek között

A hevederes sínillesztésnél az előző a) pontban vázolt ideális eset — amely szerint a kerék átfutásakor a sínvégek teljesen azonos magassági szinten maradnak — azonban csak a legritkább esetben, igen jól fenntartott pályán,



9. ábra Függőleges lépcsőképződés

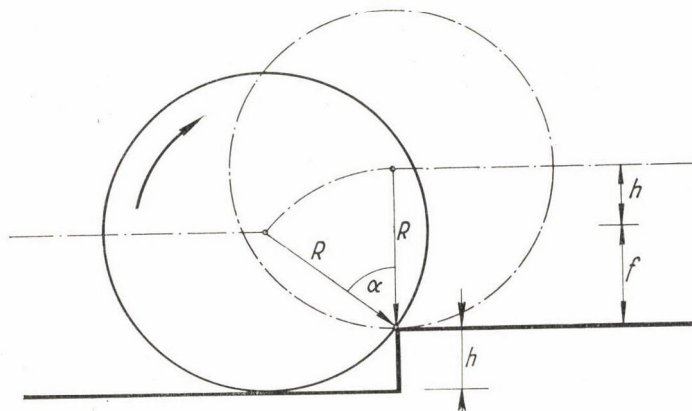
ikeraljas sínillesztés esetén fordul elő. Rendszerint az *illesztés előtti sínvég a kerékterhelés hatására kisebb-nagyobb mértékben lehajlik*, amit a hevederkötés játéka megenged. Így a 9. ábrán bemutatott függőleges lépcső keletkezik a két sínvég között, amelyre a keréknek fel kell ugrania. A kerék az illesztési hézagon átugorva, a függőleges lépcső következtében az illesztést követő sín végét üti, kalapálja, ami természetesen munkát és így többletellenállást jelent. Ezek a sínvégelverődések, kicsorbulások a hevederes illesztések sínvégein jól megfigyelhetők. Ez a hatás természetesen nagyobb, mint az előző a) pontban tárgyalt jelenség.

A függőleges lépcsőre a keréknek a sebességtől függetlenül *mindig fel kell ugrania*, vagyis az így meghatározható munka értéke nagyobb sebesség esetén sem csökkenhet, amint az az ideális hézagon való átugrásnál, az előző a/γ pont szerint volt.

A függőleges lépcsőre felugró kerék vizsgálatánál az előző fejezetben tárgyalt gondolatmenetet folytatom. A kerék geometriai helyzetét az alábbi 10. ábra tünteti fel. Az ábra jelölései szerint:

$$\cos \alpha = \frac{f}{R} = \frac{R-h}{R}; \quad \sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{f^2}{R^2}}$$

$$s'_y = \frac{dy}{dt} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} s'_x = \frac{\sqrt{1 - \frac{f^2}{R^2}}}{\frac{f}{R}} = \frac{R \sqrt{1 - \frac{f^2}{R^2}}}{f} \quad [\text{cm/sec}] \quad (15)$$



10. ábra Függőleges illesztési lépcsőn áthaladó járműkerék geometriai helyzete

A függőleges lépcsőre felugró kerékpár függőleges irányú munkája:

$$L_y = \frac{10\,000 Q'_{tr} [R^2 - (R-h)^2]}{2 \cdot 3,6^2 g (R-h)^2} v^2 \quad [\text{cmkp}] \quad (16)$$

Ebből a többletellenállás H sínhosszak alapulvételével meghatározható:

$$E_{\ddot{u}} = \frac{10\,000 Q'_{tr} [R^2 - (R-h)^2]}{2 \cdot 3,6^2 g (R-h)^2 H} v^2 \quad [\text{kp}] \quad (17)$$

Az 1 Mp tengelysúlyra átszámított fajlagos ellenállás:

$$\mu_{\ddot{u}} = 0,393 \frac{R^2 - (R-h)^2}{(R-h)^2 H} v^2 \quad [\text{kp/Mp}] \quad (18)$$

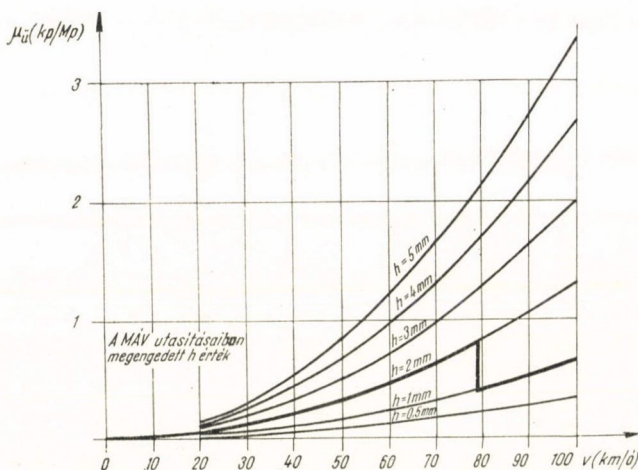
Ez a többletellenállás igen jelentős és a sínütközési ellenállás jelentős részét alkotja. Az alábbiakban bemutatom a 11. ábrát, amely különböző, $h = 0,5-5$ mm függőleges lépcsőkre felugró tengely fajlagos többletellenállási értékeit ábrázolja. A korábbi példákhoz hasonlóan itt is meghagytam a teljes és a rugózatlan súlyok közötti $Q_{tr} : Q_t = 1 : 10$ arányt, az adatok meg- egyeznek a korábbi 8. ábra adataival.

A Magyar Államvasutak érvényben levő előírása fenntartásnál, az illesztéseknél az alábbi függőleges lépcsőt engedi meg:

$$v \geq 80 \text{ km/ó sebességnél: } h_{\max} = 1 \text{ mm.}$$

$$v < 80 \text{ km/ó sebességnél: } h_{\max} = 2 \text{ mm.}$$

Ezek az adatok azt mutatják, hogy 1—2 mm függőleges lépcső még szabályszerűen fenntartott hevederes illesztésű pályán is előfordul és megengedett. A tapasztalat szerint régebbi, elverődött és lehajlott sínvégeknél a fenti értékeknél nagyobb h függőleges lépcsőkkel is találkozunk. A 11. ábrán az említett MÁV



11. ábra A függőleges lépcsőn felugró kerékpár fajlagos többletellenállása

előírásban szereplő határértékeket vastagabb vonallal feltüntettem. Szembetűnő, hogy pl. a gyakorlatban előforduló — és megengedett — 2 mm függőleges lépcsőnél már közepes sebességeknél is 0,3—0,5 kp/MP többletellenállási értékekkel számolhatunk, amelyek a teljes menetellenállás értékének 10%-át is meghaladják.

c) Vízszintes lépcső a sínvégek között

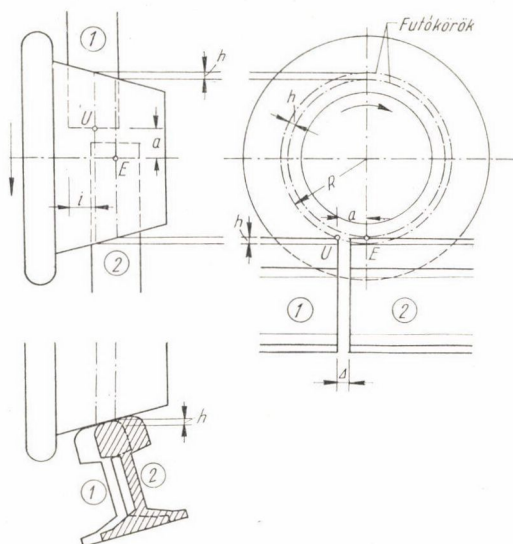
A hevederes illesztésnél a sínvégek között elvileg vízszintes irányú eltérés, lépcső is létrejöhét, amelynek rövid tárgyalása a teljesség kedvéért indokolt.

A vízszintes lépcsőnél a kerék áthaladásakor mind vízszintes, mind függőleges irányban irányeltérítés keletkezik, amely a jármű nyugodt haladása szempontjából rendkívül káros. A 12. ábra egy vízszintes lépcsőn áthaladó kerék helyzetét ábrázolja. Látható, hogy egyrészt a sínnek a vezetést biztosító oldalfelülete mentén ugrás van, amely oldalirányú lökést ad a járműnek, másrészt pedig a kerék kúpossága miatt a vízszintes lépcsőképződés folytán magassági ugrás is létrejön.

Miközben ugyanis a kerék az illesztés előtti 1. számmal jelölt sít elhagyja és a 2. számmal jelölt sít eléri, átugrik az U és E pontok közötti a hosszúságú vízszintes távolságon, s magassági helyzete a h értékkel változik (süllyed vagy emelkedik a vízszintes lépcső irányának és a kerék helyzetének megfelelően).

A felvázolt geometriai helyzetből az i méret ismeretében a h és a méretek, valamint az ezek miatt keletkező munka értéke az előzőekben vázolt gondolatmenetnek megfelelően számíthatók.

A szabványos hevederkötések — a hevedereknek a sín hevederkamrájába történő befeszülése miatt — általában a vízszintes lépcső képződését meg-



12. ábra Vízszintes lépcsőképződés a sínillesztésnél

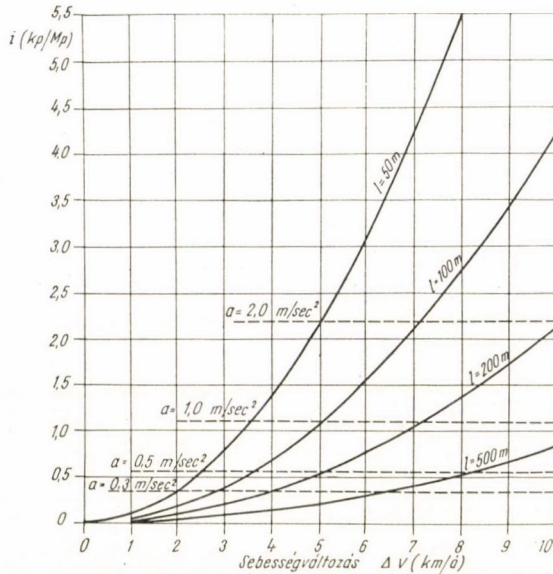
gátolják s a tapasztalatok szerint ilyen csak egészen kivételesen fordul elő. A vonatkozó magyar előírások nem is engedik meg a vízszintes lépcsőt. Így a vízszintes lépcsővel kapcsolatos elméleti vizsgálatok részletezését e helyen nem tartom szükségesnek, minthogy e problémának a hézag nélküli vágánnyal történő összehasonlítás szempontjából sem elméleti, sem gyakorlati jelentősége nincs.

4. Ellenállásmérések

A hézag nélküli vágányban fellépő menetellenállások meghatározására az előző fejezetekben ismertetett elméleti bizonyítást *kísérleti mérésekkel is igazolni kívántam*. Rendkívül nagy segítséget jelentett számomra a Magyar Államvasutak hozzájárulása, amely az ilyenirányú kísérletsorozat megindítását lehetővé tette. Ennek megfelelően a *Vasúti Tudományos Kutatóintézet Járműkísérleti Osztálya*, Pápay István okl. gépészmérnök vezetésével mérésorozatokat végzett, amelyek céljaul azt tűztük ki, hogy azok *összehasonlító adatokat* szolgáltatassanak a hézag nélküli és a hevederes illesztésű vágányokon haladó vonatok tényleges ellenállási viszonyaira vonatkozóan.

A kétféle vágányon haladó szerelvények menetellenállásai közötti eltérés — az előző fejezetek szerint — a sínütközési ellenállás elmaradásából származik. Ezt úgy lehet meghatározni, ha teljesen azonos körülmények között, azonos sebességfokozatoknál megmérjük a vizsgált vonat menetellenállását hézag nélküli és hevederes vonalrészeken, s a kapott értékeket összehasonlítjuk.

Az ismert mérési módszerek közül e célra a *dinamométeres eljárás* a legmegfelelőbb.



13. ábra A gyorsítási ellenállás értékei, különböző úthosszakon fellépő sebességváltozások függvényében

E mérési módszernél a vontató jármű és a vizsgálandó jármű (járműcsoport) közé dinamométerrel ellátott mérőkocsit kapcsolnak, amely a mozdony vonóhorgán fellépő vonóerőt méri.

Egyenletes sebesség mellett a $V = E$ egyenlőség alapján a szerelvény menetellenállása meghatározható.

Ez az aránylag egyszerűnek látszó mérés a gyakorlatban számos nehézséggel jár:

— A feltételként megjelölt *állandó sebesség biztosítása* rendkívül nehéz. Legcélszerűbb e célra villamos mozdonyal vontatott szerelvényt használni, amelynél a hajtómotor szinkron sebessége biztosítható. A sebesség kis határok közötti változása is jelentősen megváltoztatja a kapott értékeket. Ennek igazolására mellékelem a 13. ábrát, melyből látható, hogy pár száz méteres mérési hosszon néhány km/óra sebességváltozás (gyorsítás, vagy lassítás) is $0,2\text{--}0,3 \text{ kp/Mp}$ értékkel változtatja meg — növeli, vagy csökkenti — a teljes, mért ellenállás értéket. Ilyen kis, alig mérhető sebesség-ingadozás pedig még villamos mozdonyal vontatott vonatoknál is nehezen kerülhető el, viszont a fenti $0,2\text{--}0,3 \text{ kp/Mp}$ érték a teljes ellenállás 10% -a körül mozog.

— Rendkívül befolyásolja a mérés pontosságát a *szél iránya és erőssége*. Célszerű tehát a mérés időpontjául szélcsendes napot választani. A széllelkések teljesen meghamisítják a mért vonóerő értékeket.

— A *pálya körívei* szintén pontatlanná teszik a mérést, minthogy az ívellenállás pontos értékét — a járművek tengelytávolságai, a kerékpárok játéka stb. erősen befolyásolják. Ezt hosszú szerelvéynél pontosan meghatározni igen nehéz. Célszerű tehát a menetellenállás mérést egyenes pályaszakaszon végrehajtani.

A dinamométeren lemért vonóerő értékek és a sebesség ismeretében a menetellenállás meghatározható, illetve különböző sebességeknél végrehajtott sok méréssorozat után: [9]

$$\mu_1 = \frac{V_{m1}}{Q_k} = a + cv_1^2$$

$$\mu_2 = \frac{V_{m2}}{Q_k} = a + cv_2^2$$

⋮

⋮

$$\mu_n = \frac{V_{mn}}{Q_k} = a + cv_n^2$$

A fenti összefüggésekből meghatározható a $\mu = f(v)$ görbe:

$$c = \frac{\mu_1 - \mu_2}{v_1^2 - v_2^2} \quad (19)$$

$$a = \mu_1 - cv_1^2 = \mu_2 - cv_2^2 \quad (20)$$

Az ismertettelt feltételek folytán a kísérleti mérések helyét nagy körütekintéssel kellett kijelölnünk. Minthogy a dinamométeres ellenállásmérés feltétlenül megkívánja az állandó sebesség tartását, a mérőkocsi vontatására elsősorban villamos mozdonyt kell használnunk. Állandó, szinkron — 25, 50, 75, 100 illetve 125 km/ó — sebesség tartására a Magyar Államvasútak V.40, V.55 és V.60 sorozatú fázisváltós mozdonyai alkalmasak, amelyek jelenleg a 16 kV feszültségű budapest—hegyeshalmi fővonalon közlekednek. E vonal egyes rövidebb szakaszai hézag nélkülivé vannak kiképezve, így azok e kísérletek céljaira alkalmasak.

A kísérleti úton meghatározott ellenállás értékeket a szél iránya és erőssége jelentősen befolyásolja, így a méréseket ugyanannál a vonatnál hosszabb szakaszon, gyors egymásutánban gyakran ismételve hézag nélküli és hevederes pályarészekben váltakozva hajtottuk végre, ami által remélhető volt, hogy a légmozgás hatásából származó eltérések kiküszöbölhetőek.

A sűrű vonatforgalom valamint egyéb vasútüzemi és időjárási nehézségek ellenére számos menetet bonyolítottunk le és ezek alapján jól kiértékelhető méréssorozatokat kaptunk. Ezek közül bemutatom az 1963. június 7-én, a Budapest—Győr között közlekedett 1302. sz. gyorsvonattal végzett mérés eredményeit. A 14. ábra a szerelvény adatait tünteti fel, a következő 15. ábrán a mérés feldolgozott eredményeit ismertetem.

A mérés helyeiül a vonal egyenes és lehetőleg vízszintes szakaszait választottuk. Az emelkedőben végzett méréseknél a kapott értékeket az emelkedési ellenállás pontosan meghatározható e [$\%_{00} = \text{kp/Mp}$] értékeivel módosítottuk. A 15. ábra már ezeket a módosított értékeket tartalmazza.

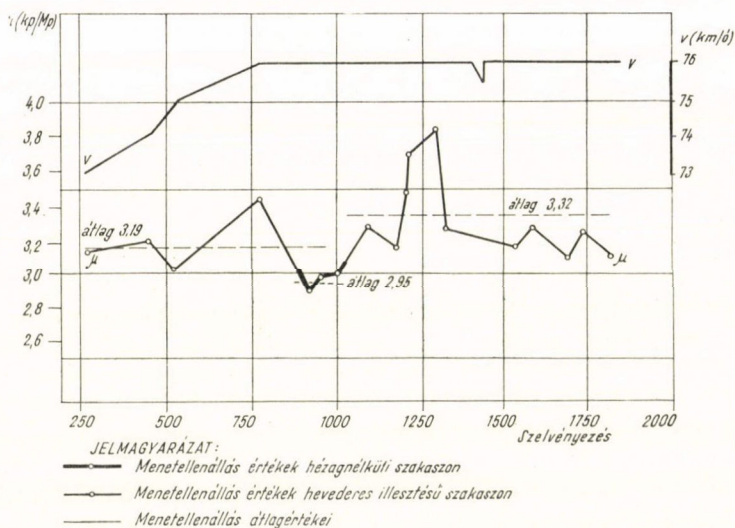
E kiragadott példa igen szemléltetően mutatja, hogy a *hézagnélküli pályaszakaszokon* *ténylegesen kisebb a menetellenállás*, akár az egyenkénti



1963. június 7. 1302. sz. gyorsvonat
 Átlagos levegőhőmérséklet $+20\text{ }^\circ\text{C}$
 Szélcsend

Tengelyszám: 43
 Önsúly: 405,6 Mp
 Összsúly: 434,6 Mp

14. ábra Az 1963. június 7-i kísérlet szerelvényének adatai



15. ábra Az 1963. június 7-i vonali ellenállásmérés eredményeinek részlete

mérések értékeit, akár több mérés átlagát hasonlítjuk össze. A 15. ábrából kitűnik, hogy a hevederes illesztésű szakaszon kapott μ értékek kivétel nélkül mindig magasabbak a hézagnélküli szakaszon mértéknél. Az átlagértékek összehasonlítása azt mutatja, hogy a hézagnélküli vágányon haladó kocsisor menetellenállásának átlagértékei 7,5%-kal, illetve 11%-kal kisebbek, mintha az a hevederes illesztésű szakaszon haladna. Az egyes azonos jellegű mérés-helyek eredménye közötti, aránylag kis eltérések a sebesség kismértékű ingadozására, esetleges minimális levegőmozgásra, illetőleg az ilyen méréseknél még a leggondosabb végrehajtásnál is elkerülhetetlen vonatrángatózásra és a műszerek hibaforrásaira vezethetők vissza.

Több más mérésorozat hasonló eredményeket adott. Ugyanakkor néhány más alkalommal az azonos feltételek között végzett mérések jelentős szórásokat mutattak, s a hézagnélküli és a hevederes pályán mért értékek közötti eltérés nem volt kimutatható. Ennek okát abban látom, hogy egyes mérési napokon váltakozó erejű és irányú, lökésszerű szél volt, más alkalommal a nyári meleg miatt a hevederes illesztésű szakaszokon a terjeszkedési hézagok teljesen záródtak, ami gyakorlatilag a sínütközési ellenállás számottevő csökkenését jelentheti. A vizsgált pályaszakasz egyes helyein természetesen, a fektetés és fenntartás hiányosságai folytán nyomtáv- és irányhibák is fordultak elő. Ilyen feltételek mellett a szabálytalan járműmozgásokból származó ellenállás nagyrészt megmarad, illetve a sínvégek összehegesztése önmagában nem jár számottevő ellenálláscsökkenéssel.

A zavartalan körülmények között végzett kísérletek eddigi eredményeiből megállapítható, hogy a hézagnélküli vágányban a menetellenállásnak az előzőekben elméletileg igazolt *csökkenő tendenciája kétségtelen*. Az eddig végzett kísérletsorozatok módszerileg helyeseknek, s a kívánt vizsgálati célnak megfelelőeknek bizonyultak. A hézagnélküli pályában elérhető vontatási munkamegtakarítás mértékének pontos, számszerű alátámasztására még éveken át tartó számtalan kísérletsorozat szükséges, mert a vontatási munkamegtakarításból származó gazdasági előnyöknek a vontatási normák megváltoztatásában mutatkozó pénzügyi realizáláshoz teljesen egyértelmű, s igen sok mérés eredményéből, statisztikus módszerekkel számított mérési adatok szükségesek.

5. Összefoglalás

A hézagnélküli pályán haladó vasúti járművel kapcsolatban elvégzett elméleti vizsgálataim és a vonali mérések eredményeit összegezve megállapítható, hogy a hevederes illesztésű pályával szemben *a hézagnélküli pályán a jármű kedvezőbb körülmények között, kisebb menetellenállással halad*. Ezt az ellenálláskülönbséget az alábbi megfontolás szerint határoztam meg:

a) *Az azonos szintben levő, mozdulatlan sínvégekkel kiképzett, ideálisnak nevezhető illesztésnél a terjeszkedési hézagon átugráskor kis sebességnél, a (4.) képlet alapján:*

$$\mu_{\bar{u}} = 0,000164 \left(\frac{v}{10} \right)^2 \quad (21)$$

nagy sebességnél a (13.) képlet alapján:

$$\mu_{\bar{u}} = \frac{2,648}{(v_0 + v)^2} \quad (22)$$

b) *A sínvéglehajlásból és sínvégelverődésből származó függőleges lépcső esetén, a (18.) képlet alapján:*

h = 1 mm lépcsőnél:

$$\mu_{\bar{u}} = 0,0066 \left(\frac{v}{10} \right)^2 \quad (23)$$

h = 2 mm lépcsőnél:

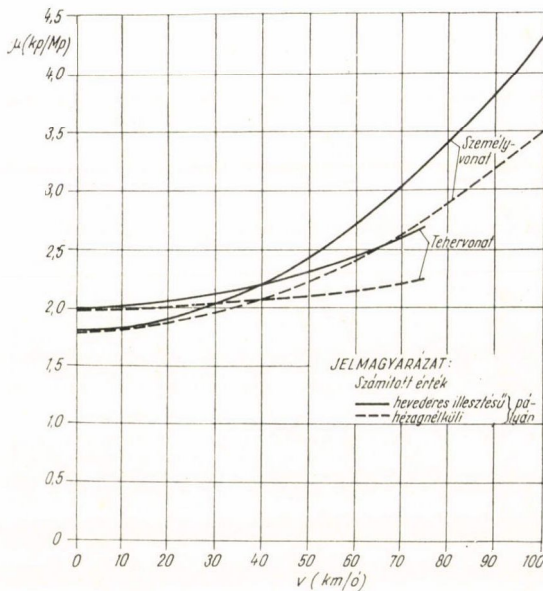
$$\mu_{\bar{u}} = 0,0132 \left(\frac{v}{10} \right)^2 \quad (24)$$

Vizsgálataim szerint elsősorban az illesztésnél előálló *függőleges lépcsőképződést* kell a többletellenállás szempontjából mértékadónak tekinteni. A 435. oldalon részletezett okok folytán 1—2 mm függőleges lépcső üzem közben megengedett és a sínvéglehajlások és sínvégelverődések folytán ennél lényegesen nagyobbak is előfordulnak.

A hézagnélküli pályán a terjeszkedési hézagok elmaradásából elérhető ellenálláscsökkenést, vagyis a *fajlagos sínütközési ellenállás értékét az alábbi képlettel javaslom meghatározni:*

$$\mu_{\bar{u}} = 0,008 \left(\frac{v}{10} \right)^2 \quad [\text{kp/Mp}] \quad (25)$$

A 16. ábrán egy személy- és egy tehervonat menetellenállásának kiszámított értékeit ábrázoltam. Az ábrán szaggatott vonallal tüntettem fel e



16. ábra Személy- és tehervonat fajlagos menetellenállása és annak javasolt $\mu_{\bar{u}}$ -vel csökkentett értékei

képleteknek a fenti (25.) ütközési ellenállási képlet alapján meghatározott, csökkentett értékeit. A fajlagos menetellenállásnak a hézagnélküli pályán elérhető csökkenése ebből az ábrából szemléltetően kitűnik.

Kétségtelen, hogy a terjeszkedési hézagok elmaradása folytán előálló ellenálláscsökkenésnek — éppen a járművek szabálytalan mozgásai, lengései folytán keletkező bizonytalanságok miatt — nem szabad egyes hatások viszonylagos túlértékelésével (pl. nagyobb hézag, nagyobb függőleges lépcső is gyakran előfordul) túlzott jelentőséget tulajdonítani, de a fenti képletben javasolt közelítés óvatosnak és megfelelő átlagértékeket adóknak minősíthető.

A fenti 25. képlet a vasúti ellenállások egyik fontos és eddig még pontosan meg nem határozott részére vonatkozóan ad elméletileg alátámasztott és vonali kísérletekkel is ellenőrzött s a gyakorlatban is használható összefüggést.

A sínütközési ellenállás értékének ismeretében igen kiterjedt gazdaságossági elemzések végezhetők [4,5] amelyek értékes adatokat szolgáltatnak a hézagnélküli felépítmény kialakításának mindazokra a kedvező, aktív gazdasági hatásaira vonatkozóan, amelyek a vontatási munka csökkenéséből származnak. Az így meghatározható vontatási munka — illetve üzemanyag vagy energiamegtakarítás — a hézagnélküli felépítménykiképzés gazdasági indokoltságának egyik fontos tényezője.

Az MTA Közlekedéstudományi Munkaközössége keretében az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem *Vasútépítési tanszéke* már évek óta folytat elméleti kutatásokat a vasúti jármű és pálya kölcsönhatásával, valamint a vasúti ellenállások meghatározásával kapcsolatban. [14, 15, 16, 17] E munka során a fenti tanulmányban ismertetett eredmények mellett többek között igen értékes munkát végeztünk a gurítódombról leguruló kocsik saját ellenállásának valamint a kitérőellenállás számszerű értékeinek kísérleti meghatározása terén. Munkánkat a közeli években a hazai viszonyok között még csak bizonytalan értékekkel figyelembe vehető egyéb részellenállások kísérleti és elméleti meghatározásának irányában folytatjuk.

IRODALOM

- [1] Babicskov, A. M.—Jegorczenko, V. F.: Vonóerőszámítások. (fordítás), Budapest, 1952.
- [2] Búza Kiss L.: A vasúti vágányok építési méretelőírásainak kritikája. (MTI-jegyzet) Budapest, 1960.
- [3] Ertl R.: Vasútvonalak tervezése. Budapest, 1955.
- [4] Kerkápoly E.: Hézagnélküli pályák gazdaságossága és fejlesztése. A hézagnélküli vasúti pályák c. könyv VI. fejezete. Budapest, 1960.
- [5] Kerkápoly E.—Unyi B.: A hézagnélküli felépítmény gazdaságosságának vizsgálata. (Közlekedéstudományi Szemle, 1961. 8. sz.)
- [6] Dr. Kerkápoly E.: Közlekedésdinamika. Szakmérnöki jegyzet. Budapest, 1965.
- [7] Dr. Kerkápoly E.: Der lückenlos geschweisste Oberbau aus der Sicht des Eisenbahnbetriebs. Eisenbahntechnische Rundschau, 1965. 1/2. sz.
- [8] Dr. Kerkápoly E.: Vasútépítéstan. Egyetemi jegyzet. Budapest, 1966.
- [9] Kopasz K.: A vonattovábbítás mechanikája. Budapest, 1953.
- [10] Müller, W.: Eisenbahnanlagen und Fahrdynamik I—II. Berlin, 1950—1953.
- [11] Nordmann, H.: Die Mechanik der Zugförderung. Berlin, 1952.
- [12] Nyikolajev, I.—Tretyakov A.: Podviznoj szosztáv i tjaga poozdov. Moszkva, 1950.
- [13] Zelovich K.: A vasúti üzem. Budapest, 1918.
- [14] A vasúti vágány megengedhető függőleges irányú méreteltéréseinek és irányhibáinak együttes hatása. Az Út-vasútépítés és közlekedésügyi tanszék beszámoló jelentése, 1963.
- [15] A vasúti vágány megengedhető túlemelés eltéréseinek vizsgálata. A Vasútépítési tanszék beszámoló jelentése, 1964.
- [16] A vasúti vágány megengedhető függőleges és vízszintes sínlépcsőinek vizsgálata a járműfutás szempontjából. A Vasútépítési tanszék beszámoló jelentése, 1965.
- [17] A menetellenállások elméleti és gyakorlati vizsgálata, különös tekintettel a gurítódombos rendezőpályaudvarok üzemére. A Vasútépítési tanszék beszámoló jelentése, 1965.

A KORSZERŰ VÁGÁNY OLDALIRÁNYÚ ÁGYAZATI ELLENÁLLÁSA, TEKINTETTEL A STABILITÁS FOKOZÁSÁRA

Ismeretes, hogy a korszerű (hézagnélküli) vágány fekvésbiztonságának elérése céljából fokozott követelmények merülnek fel, a vágány ágyazati kialakítása szempontjából.

Az ágyazat *a*) a vágányt rugalmasan alátámasztó, a járműterheléseket és erőhatásokat elosztó, valamint *b*) a nap hőszugárzó és a járműterhelés hatására a sínszálakban mind oldal, mind hosszirányban keletkező erőhatások elleni ellenállást biztosító szerkezet azáltal, hogy a vágány aljazatai fiókjaiban és homlokléfelületei (bütük) előtt felhalmozva, közel megoszló terhelést biztosít az említett erőkkel szemben. Ezenkívül *c*) feladata az ágyazatnak a csapadék vizek jó elvezetése is.

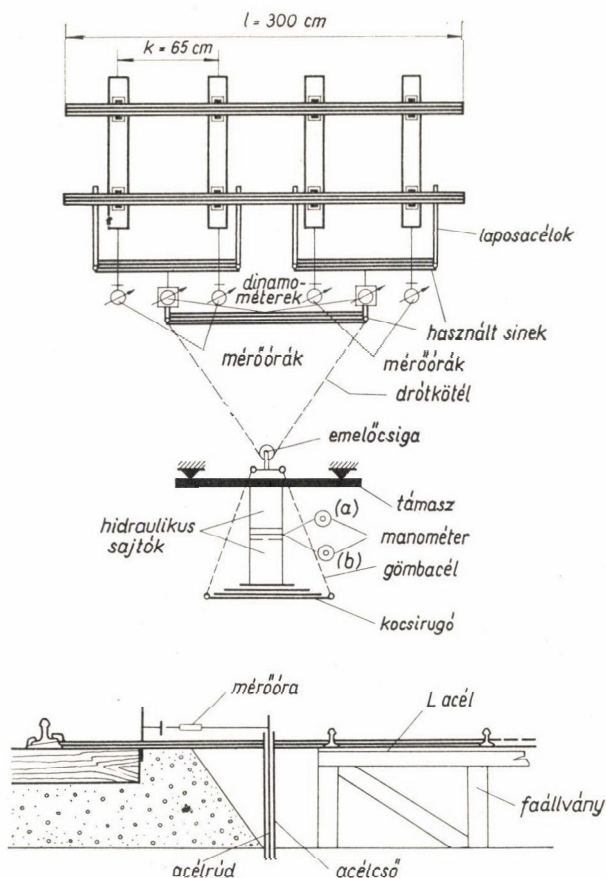
A *b*) pont alatt említett szerepe az ágyazatnak döntő fontosságú. Ennek alátámasztására elég, ha megemlítjük, hogy a vágány keretmerekességéből származó ellenállóképességen kívül, az ágyazati ellenállástól függ a stabilitás biztonsága, a felépítmény terheletlen állapotában. Jellemzésül megemlítjük, hogy azok az erők, amelyek a nap hőszugárzó hatására a hézagnélküli vágány sínszálaiban keletkeznek igen jelentősek, (pl. a hazai viszonylatban várható $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ sínhőmérsékletet feltételezve 137 tonna) éppen ezért nem közömbös sem az építés után, sem pedig a vágány bizonyos használati idejének elteltével, az ágyazat említett erőkkel szembeni ellenálló képessége. Azt kell mindenképpen biztosítani, hogy az ágyazat a hőigénybevétel és a járműterhelés hatására keletkező változó igénybevételekkel szemben, jelentős ellenállással, illetve rugalmassággal rendelkezzen.

E kérdés biztosításának feltételeit, számos neves kutató vizsgálta és vizsgálja ma is. Az eddig ismert kutatások eredményeiből azonban még mindig nem lehet végleges állásfoglalást alkotni, hiszen a vélemények nem egy kérdésben különböznek. Abban, hogy a vágány oldalirányú ágyazati ellenállásának kérdése a vasúti felépítmény stabilitása szempontjából döntő fontosságú, mindenki egyetért. Nem látunk azonban tiszta képet, hogy ezt miképpen lehet műszakilag leghelyesebben, leggazdaságosabban biztosítani.

Különösen hiányoznak ismereteink az ágyazati anyag és a vágány aljazatai egymásra gyakorolt hatása, az ágyazat tömörítésének szükséges mértéke, szennyeződése, rugalmassága tekintetében. Nem rendelkezünk továbbá kellő ismeretekkel a tekintetben sem, hogy az egyes építési és fenntartási módszerek milyen hatással vannak az oldalirányú ágyazati ellenállás alakulására. Gondolunk itt elsősorban az aljak aláverésének, alázuzalékolásának hatására.

E gondolatokból kiindulva kísérleti munka keretében, a korszerű vasúti pálya oldalirányú ágyazati ellenállást befolyásoló tényezők elemző vizsgálatát tűztük ki feladatunkul.

A vizsgálatok során egy $48,3 \text{ kg/fm}$ súlyú, $k = 65 \text{ cm}$ aljazatosztású talpfás és előfeszített vasbetonaljas kísérleti vágányon több ezer oldalirányú húzatósi kísérletet végeztünk, szabványos (50 cm vastagságú) különféle szemnagyságú ágyazatban (1. ábra).



1. ábra A kísérleti vágány, illetve húzóberendezés elvi elrendezése

Az igen nagyszámú kísérleti adatok értékelését a súrlódási elmélet alapján végeztük el, amelyek eredményeiről az elméleti vizsgálatokat érintve — a lényeges megállapításokra és javaslatokra utalóan — kívánunk ismertetést adni.

1. A súrlódási elmélet, mint az ágyazat ellenállás vizsgálatának eszköze

Feladatunk elvégzéséhez szükségesnek tartjuk felsorolni, hogy milyen belső és külső erők terhelik a vágányt oldalirányban és ezekkel szemben milyen tényezők következtében fejt ki ellenállást.

A vágányt oldalirányban:

- a) dilatációs és
- b) dinamikus erők terhelik.

a) A dilatációs terhelés, a nap sugárzó hatásának következtében keletkezik a vágány sínszálaiban. Ez a terhelés a vágány hosszában egyenletesen ható, tehát hosszirányú erőnek fogható fel. Jól megközelítő értéke a

$$P_t = \alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta t \quad (1)$$

összefüggés alapján számítható. A jelölések: P_t = a sín tengelyirányú erővel, α = a hőtágulási tényezővel, E = az acélműanyag rugalmassági modulusával, F = a sínkeresztmetszet területével, $\Delta t = (t_2 - t_1)$ = a sínhőmérsékletkülönbség értékével.

b) Az az igénybevétel, amelyet a dinamikus terhelés okoz a vágányra horizontálisan, a tengelyterhelésen kívül a járművek mozgási sebességétől is függ.

A sebességtől függő oldalirányú vágányigénybevételt okozzák:

- α) a jármű kigyózó mozgásából (oldalgyorsulás),
- β) a szélnyomásból,
- γ) a centrifugális erőkől származó hatások.

Ez utóbbit (γ) csak ívben fekvő vágány esetében kell figyelembe venni. A felsorolt oldalirányú erőhatásokkal szembeni ellenállása a vágánynak:

- c) a sín merevségétől,
- d) a sínleerősítő szerkezetek szorítóhatásától,
- f) az ágyazat oldalirányú ellenállásától függ.

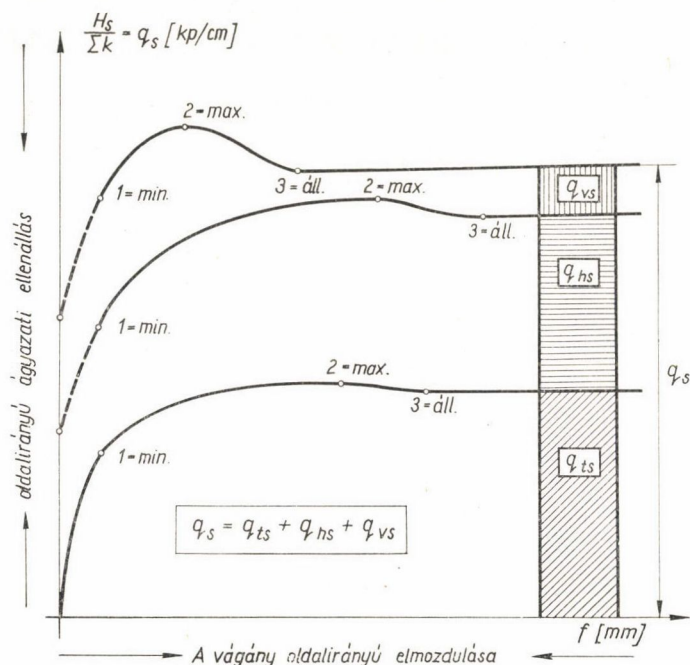
Ezt az együttes hatást (c, d, f) nevezhetjük a vágány teljes oldalirányú ellenállásának. E dolgozatban nem kívánjuk a vágány teljes oldalirányú ellenállási feltételeit részletesen elemezni. Feladatunkul csupán az (f) oldalirányú ágyazati ellenállás alapos vizsgálatát tűztük ki. A továbbiakban vizsgáljuk meg tehát, hogy milyen tényezők okozzák az említett oldalirányú erőkkel szembeni ellenálló képességét az ágyazatnak.

A súrlódó ellenállás függ:

- g) a járműterheléstől (V),
- h) a vágány önsúly terhelésétől (sín, alj, kapcsolószerkek súlya) (Q),
- i) az aljak kiosztásának távolságától (k),
- j) az alj anyagától és méreteitől,
- k) az alj alakjától és felületi kiképzésétől,
- l) az ágyazat anyagától és tömörítésének hatásától,
- m) az ágyazati zúzottkő szemmagyságától és tömegétől,
- n) az ágyazat szennyeződésétől,
- o) a levegő hőmérsékletétől (fagyott állapot).

A g — o pontokban említett tényezők befolyásának hatása, a vágány oldalirányú ágyazati ellenállás alakulása tekintetében, végeredményben az aljak ágyazaton felfekvő és oldalfelületeire jutó súrlódó ellenállásból, valamint az aljak homloklapfelületeit (bütük) terhelő, zúzottkő passzív, földnyomáshoz

hasonló ellenállásából tevődik össze. A fentiek értelmében tegyük vizsgálat tárgyává a vágány oldalirányú húzatósi kísérletek átlagértékeiből szerkeszthető — az oldalirányú ágyazati ellenállási diagramok jellegére vonatkozó — 2. ábrát. Az ábrán látható jelölések értelmezése a következő:



2. ábra A vágány oldalirányú ágyazati ellenállásának elvi diagramjai

q_s = a beágyazott kísérleti vágány, teljes oldalirányú ágyazati ellenállásával,

q_{ts} = a kísérleti vágány aljazatai talp (felfekvési) felülete, illetve a zúzottkő ágyazati anyag érintkezéséből származó súrlódási ellenállással,

q_{hs} = a kísérleti vágány aljazatai oldal felületei, illetve a zúzottkő ágyazati anyag érintkezéséből származó súrlódási ellenállással,

q_{vs} = a kísérleti vágány aljazatai homlokfelületeire ható, passzív zúzottkő nyomásból származó ágyazati ellenállással.

A 2. ábrán látható, hogy a stabil—labil egyensúlyi határhelyezethez egy

$$H_s = q_s \cdot \Sigma k \quad (2)$$

oldalirányú erő tartozik, amit a diagramokból extrapolálással határozhatunk meg. Ebben az esetben a vágányt függőlegesen terhelő statikus V_s erő (vágányönösúly és tengelyterhelés) egyensúlyban van azzal a H_s erővel, amely a vágányt oldalirányban terheli. Ez a tény a statika ismert Coulomb-féle törvények szerinti

$$H_s = V_s \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3)$$

$$\text{illetve} \quad H_s = V_s \cdot \mu \quad (4)$$

összefüggés alapján áll fenn, ahol

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi \quad (5)$$

a súrlódási tényezőt jelenti.

Az említett ábra diagramjait (q_{ts} , q_{hs} , q_{vs} , q_s) tekintve azt látjuk, hogy f_{\min} elmozdulás után még enyhén emelkedő tendenciát mutatnak, egészen az f_{\max} elmozdulásig. Ettől a ponttól az említett ellenállási értékek csökkennek, majd $f_{\text{áll}}$ elmozdulás után állandósulnak.

Véleményünk szerint ennek oka az, hogy amikor a vágány aljazatai elmozdulása bekövetkezik, a τ fajlagos nyíróerő, a fajlagos nyírási ellenállás értékét meghaladja. A nyírási ellenállás a további Δf elmozdulások folyamán, az ágyazat tömörödése miatt növekszik. A mozgás folyamata alatt az ágyazati anyag egy minimális tömörségi értéket ér el, amely mintegy magához rendeli a maximális fajlagos nyírási ellenállást, hivatkozott ábránk esetében a $q_{s \max}$ -ot. Az aljak elmozdulásának további folyamatában az ágyazati anyag fellazulása tapasztalható, minek következtében a nyírófeszültség fokozatosan csökken. Ezután az ágyazat eléri kritikus tömörségi értékét, amely mellett a mozgás fenntartásához szükséges H_s oldalirányú erő állandósul.

Mint hogy a vágány oldalirányú elmozdulását okozó erőben három jellegzetes értéket különböztetünk meg, ($H_{s \min}$, $H_{s \max}$, $H_{s \text{áll}}$) így véleményünk szerint az oldalirányú ágyazati ellenállást tekintve is mindenkor a $q_{s \min}$, $q_{s \max}$, $q_{s \text{áll}}$ értékeket kell vizsgálni, illetve meghatározni. Ezek az adatok alkalmasak az ágyazat oldalirányú erőkkel szembeni ellenállóképesség számzerű értékelésére.

A 4. képlet ismeretében a súrlódási ellenállásból származó oldalirányú ágyazati ellenállás elméletileg a

$$q_s = \frac{V_s \cdot \mu}{\Sigma k} = \frac{H_s}{\Sigma k} \quad (6)$$

képlettel számítható, ahol k a vágány aljazatai kiosztásának távolságát jelenti.

Az ágyazat és a vágány aljazatai súrlódó ellenállása következtében fellépő fajlagos nyíróerő is felírható a

$$\tau = \frac{H_s}{F} \quad (7)$$

összefüggés alapján, ahol az F az aljak ágyazattal érintkező felületét jelenti.

A fent említett 4, illetve 6 feltételek számításához mindenkor a μ súrlódási tényező ismerete szükséges. Ezeknek értékeit beható vágányhuzatási kísérletek alapján lehetett megállapítani az aljazatok ágyazaton felfekvő (talp) és oldalfelületeire.

A vágány ágyazata és aljazatainak talpfelülete közötti súrlódásból származó q_{ts} oldalirányú ágyazati ellenállásra jellemző μ_{ts} súrlódási tényező elvi diagramjait a 3. ábrán szemléltetjük.

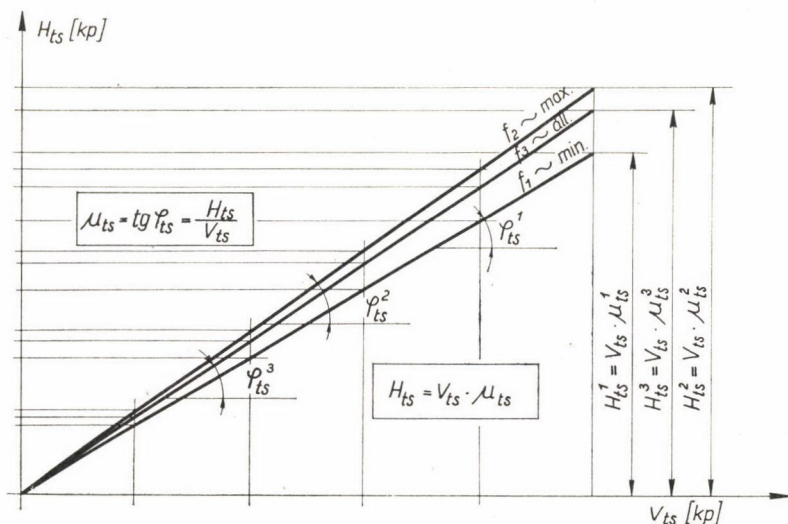
Ugyanígy állapítottuk meg az aljak oldalfelületein ébredő q_{hs} oldalirányú ágyazati ellenállásra jellemző μ_{hs} súrlódási tényező értékeit is.

Ezenkívül meg kellett állapítanunk ugyancsak kísérletek alapján azt az E_s passzív ágyazati nyomóerő értékét is, amely a H_s oldalirányú erő fellépésekor, az aljazatok homloklfelületeit (bütük) terheli.

Kísérleteink azt igazolták, hogy a vágány

$$q_s = q_{ts} + q_{hs} + q_{vs} \quad (8)$$

teljes oldalirányú ágyazati ellenállása valóban az ágyazat és a vágány aljzatai talp (q_{ts}), oldal (q_{hs}) súrlódó, illetve az aljak homlokfelületeit terhelő (q_{vs}) passzív földnyomáshoz hasonló ellenállásokból tevődik össze.



3. ábra A vágány ágyazata és aljzatai között ébredő súrlódási ellenállásra jellemző, μ_{ts} súrlódási tényező elvi diagramjai

Az oldalirányú erő, amely a vágányt f mértékben elmozdíthatja helyéről, a

$$H_s = (V_{ts} \cdot \mu_{ts}) + (H_{hs} + E_s) \delta \quad (9)$$

képlet felhasználásával számítható.

A 9) formula felhasználásával tehát a

$$q_s = \frac{H_s}{\Sigma k} = \frac{(V_{ts} \cdot \mu_{ts}) + (H_{hs} + E_s) \delta}{\Sigma k} \quad (10)$$

teljes oldalirányú ágyazati ellenállás értéke egyértelműen meghatározható.

A 9–10 képletekben szereplő jelölések értelmezése a következő:

H_s = a beágyazott vágány oldalirányú elmozdítását előidéző erővel,

V_{ts} = a vágány önsúly, illetve statikus külső (jármű) terhelésével,

μ_{ts} = az aljak talpfelületei és az ágyazat közötti súrlódásból származó, súrlódási tényezővel,

H_{hs} = az aljak oldalfelületeinél beágyazott vágány oldalirányú elmozdítását előidéző erővel,

E_s = az aljak homlokfelületeinél beágyazott vágány oldalirányú elmozdítását előidéző erővel,

- δ = az ágyazatnyomás tényezőjével,
 Σ_k = a vizsgált vágány hatásos hosszával,
 k = az aljak kiosztásának távolságával.

A súrlódási tényező (3. ábra)

$$\mu_{ts} = \operatorname{tg} \varphi_{ts} = \frac{H_{ts}}{V_{ts}} \quad (11)$$

értékével, ahol a H_{ts} az az oldalirányban ható erő, amely a beágyazatlan vágány f mértékű elmozdítását idézi elő.

Az aljak oldalfelületei és az ágyazat érintkezéséből származó súrlódási ellenállást legyőző oldalirányú erő

$$H_{hs} = H_x - H_{ts} \quad (12)$$

értékével, ahol a H_x az aljak fiókjaiban beágyazott, homlokfelületeinél szabadon hagyott vágány oldalirányú elmozdítását előidéző erőt jelenti.

Mindezek alapján az

$$E_s = H_s - H_x \quad (13)$$

a vágányt terhelő — már ismert — erők különbségével.

$$\delta = \frac{H'_{hs} + E'_s \text{ tömörített}}{H_{hs} + E_s \text{ tömörítetlen}} \quad (14)$$

értéke nem más, mint az ágyazat tömörségét (különbféle ágyazattömörítést) kifejező tényező, ahol a $H'_{hs} + E'_s$ illetve $H_{hs} + E_s$ a vágány aljazatai oldal, illetve homlokfelületeire ható ágyazatnyomások együttes értékét jelenti.

2. A vágány oldalirányú ágyazati ellenállási vizsgálatok eredményeiről általában

Az 1. részben szereplő összefüggésekből megállapítható, hogy a q_{ts} talpsúrlódási ellenállás értékét az aljak anyaga, talpfelületeinek kiképzése, az ágyazati zúzottkő anyaga és szemnagysága, illetve a vágány önsúlya és függőleges terhelésnek (járműterhelés) nagysága határozza meg. A külső terhelés növekedésével tehát a q_{ts} talpsúrlódási ellenállás is arányosan növekszik.

A vágány aljazatai oldalfelületein ébredő — ugyancsak súrlódás jellegű — q_{hs} oldalirányú ágyazati ellenállás alakulásában az ágyazati anyag tömörségének (az aljak fiókjaiban az ágyazat tömörítése) van döntő szerepe. A q_{hs} értékét természetesen az aljak anyaga, oldalfelületeinek megmunkálási viszonyai (síma, érdes), továbbá a zúzottkő szemszerkezete, minősége is befolyásolja. Elméleti és kísérleti megállapításaink szerint a q_{hs} oldalirányú ágyazati ellenállás értéke a vágány függőleges terhelésétől (járműterheléstől) nem függ.

A vágány aljazatai homlokfelületein ébredő q_{vs} oldalirányú ágyazati ellenállás jellegét tekintve passzív földnyomáshoz hasonló ellenállásnak tekinthető. A q_{vs} ellenállás értéke mint ilyen, a függőlegesen ható terheléstől szintén független.

A Z 40/65 mm szemnagyságú különféleképpen tömörített zúzottkő ágyazatban fekvő, új építésű kézi erővel alávert, $k = 65$ cm kiosztású előfeszí-

tett vasbetonaljas és talpfás terheletlen vágány (csak önsúly terhelés) oldalirányú ágyazati ellenállási értékeit részletezve az 1. táblázat tünteti fel.

1. táblázat

Előfeszített vasbetonaljas, illetve talpfás új építésű vágány oldalirányú ágyazati ellenállási értékeinek megoszlása, Z 40/65 mm szemnagyságú különféle tömörségű zúzottkő ágyazat esetében

Ágyazat tömörítés jellege	Előfeszített vb. alj				Talpfá (bükffa)			
	q_{ts}	q_{hs}	q_{vs}	q_s	q_{ts}	q_{hs}	q_{vs}	q_s
	kp/cm				kp/cm			
Tömörítetlen (bevillázott)		2,03	0,29	5,64		2,13	0,31	4,29
Kézi úton egy rétegben (aljfiókokban és aljak előtt)	3,32	2,30	0,41	6,03	1,85	2,44	0,44	4,73
Kézi úton két rétegben (aljfiókokban és aljak előtt)		2,73	0,47	6,52		2,83	0,59	5,27
Gépi úton (aljfiókokban és aljak előtt)		3,04	0,60	6,96		3,20	0,73	5,78

Megjegyezzük, hogy az 1. táblázat adatai a legkisebb kezdeti f_1 vágány-elmozdulásokhoz tartozó ágyazati ellenállási értékeket tükrözik. A vágány további oldalirányú mozgása következtében ugyanis f_2 -höz: $q_{s \max}$, illetve f_3 -hoz: q_s állandósult — tehát tovább növekvő — ágyazatellenállások tartoznak. Ez utóbbiak kisebb jelentőséggel bírnak, mivel az f_1 elmozdulás mellett az ágyazat — eltekintve a tömörítés nélkülötől — rugalmas ellenállással rendelkezik.

Az 1. táblázat számértékeit vizsgálva az ellenállások megoszlása — a q_s teljes ágyazati ellenállást 100%-nak véve — a 2. táblázatban foglaltak szerint alakul.

2. táblázat

A q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás %-os megoszlása

Ágyazat tömörítés jellege	Előfeszített vb. alj			Talpfá (bükffa)		
	$q_s = 100\%$			$q_s = 100\%$		
	q_{ts}	q_{hs}	q_{vs}	q_{ts}	q_{hs}	q_{vs}
	%			%		
Tömörítetlen	58	37	5	43	49	8
Kézi úton egy rétegben	55	38	7	39	51	10
Kézi úton két rétegben	51	41	8	35	53	12
Gépi úton	47	43	10	31	55	14

Az a tény, hogy a q_{hs} aljak oldalfelületeire jutó ágyazati ellenállás — talpfás felépítménynél — eléri, sőt meg is haladja a q_{ts} aljak talpfelületére (ágyazaton felfekvő felület) adódó ellenállás hasonló értékeit, ez az ágyazati anyag különféle tömörítése, illetve az alj oldalfelületek (vasbetonalj és talpfá) kialakításának különbözősége miatt következik be. Elősegíti a q_{hs} értékek emelkedé-

sét az is, hogy a talpfák rostjaiba a zúzottkőszemcsék bevágódnak. Ez a vasbetonaljaknál nem lehetséges.

A tömörítéssel elérhető, hogy a vágány q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállásának hatása, az alábbiak szerint fokozódjék, a tömörítetlen ágyazat hasonló adataihoz viszonyítva:

Előfeszített vasbetonaljas vágánynál:

egyrétegű kézi tömörítés mellett	8%
kétrétegű kézi tömörítés mellett	16%
gépi úton tömörítés esetében	24%

Talpfás vágánynál:

egyrétegű kézi tömörítés mellett	12%
kétrétegű kézi tömörítés mellett	22%
gépi úton tömörítés esetében	30%

Ezekből az adatokból az látszik, hogy az ágyazat tömörítésének igen jelentős szerepe van a vágány stabilitása szempontjából.

3. A rezgéshatások befolyása, a vágány oldalirányú ágyazati ellenállása szempontjából

A vágány q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállásának alakulását megvizsgáltuk a járművek futása következtében keletkező rezgések hatására. A rezgéseket a kísérleti vágányon 950 kp önsúlyú, 6 Mp. dinamikus erőhatást kifejtő, vibrációs hengerrel idéztük elő.

Azt tapasztaltuk, hogy a rezgéshatást kifejtő jármű (esetünkben a vibrációs henger) önsúlyának 45%-ában maradt hatásos, az aljak talpfelületére jutó q_{ts} talpsúrlódási ágyazati ellenállás fokozásához.

Ez egyben azt is jelenti, hogy a rezgéseket keltő jármű önsúlyának 55%-a emésztődik fel az ágyazat és a vágány rezgésbe hozott állapota miatt, a felépítmény oldalirányú igénybevétele során.

Mindezekből azt lehet megállapítani, hogy a helyes technológiával épített, illetve az üzemeltetés során jól fenntartott (fekszinttartó) vágány q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállásának csökkenése a járművek mozgásából származó rezgéshatások következtében nem történik meg. Hangsúlyozni kell különös nyomatékkal az aljak talpfelületére jutó q_{ts} ágyazati ellenállás biztosításának fontosságát. Ennek elengedhetetlen feltétele az ágyazat aljak alatti és közötti (aljfiókok) összefüggő egyenletes tömörsége, vaksüppedés és vízszák mentesség, kisebb vágányhosszakban a függőleges és vízszintes fekszintváltozások elkerülése.

Amennyiben ezek a feltételek nincsenek biztosítva, előfordulhat, hogy a vonat futása közben nagymértékben rezonanciába hozott — a nap sugárzó hatása által tetemes szintengelyirányú nyomóerővel terhelt, a fektetésekor nem kielégítően feszültségmentesített vágány — kivetődése bekövetkezhet.

Ez a gondos utasítást betartó építésre és fenntartásra hívja fel a figyelmet, melyet mindenképpen meg kell követelni.

4. Az ágyazati zúzottkő szemnagyságának befolyása, a vágány oldalirányú ágyazati ellenállásának alakulására

Vágányhuzatási kísérleteinkből megállapítottuk, hogy a zúzottkő szemnagysága jelentős mértékben befolyásolja a q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállásának alakulását.

Azt tapasztaltuk, hogy a hazai szabványaink szerinti zúzottkő anyagok, illetve azok egy részének 1:1 arányú keverése folytán V. kategória állapítható meg, az említett ellenállás fokozásának kifejezéséül. Ezek a következők:

- I Z 25/65 és Z 25/40 mm, 1:1 arányban kevert,
- II Z 40/65 és Z 25/40 mm, 1:1 arányban kevert,
- III Z 25/65 mm,
- IV Z 40/65 mm,
- V Z 25/40 mm szemnagyságú zúzottkő ágyazati anyag.

A felsorolt zúzottkő szemnagyságok melletti, q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállások értékeit vizsgálva — a Z 40/65 mm szemszerkezetű szabványos zúzottkőanyag ellenállási értékeit 100%-nak véve — a 3. táblázatban foglalt %-os ellenállás változások történtek.

A 3. táblázat adatait tekintve egyértelműen megállapítható, hogy a Z 25/65 és Z 25/40 mm szemnagyságú zúzottkő 1 : 1 arányú keverése esetén, mind előfeszített vasbetonaljas, mind talpfás vágánynál, 20%-os teljes oldalirányú ágyazatellenállás növekedés érhető el.

3. táblázat

A zúzottkő szemnagyság növelő, illetve csökkentő hatása a q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás alakulására

Alj neve	Zúzottkő szemnagysága	q_s min átlaga
	mm	%
Előfeszített vasbeton Fa (bük)	Z 40/65	100
	Z 40/65	100
Előfeszített vasbeton Fa (bük)	Z25/65 és Z25/40, 1 : 1 keverésű	120
	Z25/65 és Z25/40, 1 : 1 keverésű	120
Előfeszített vasbeton Fa (bük)	Z40/65 és Z25/40, 1 : 1 keverésű	116
	Z40/65 és Z25/40, 1 : 1 keverésű	116
Előfeszített vasbeton Fa (bük)	Z25/65	114
	Z25/65	113
Előfeszített vasbeton Fa (bük)	Z25/40	90
	Z25/40	88

Ugyancsak növeli a q_s értékét 16%-ban a Z 40/65 és Z 25/40, 1 : 1 arányban kevert frakciójú zúzottkő is. E %-os növekedéstől nem nagymértékben, mintegy 2—3%-ban marad el, a Z 25/65 mm szemnagyságú zúzottkő felhasználás mellett, q_s ágyazati ellenállás értéke.

Mindezek mellett az is látható a táblázatból, hogy Z 25/40 mm-es szemnagyságú zúzottkő használata esetén, 10—12%-os q_s ellenállás csökkenéssel

kell számolni. Ebből az következik, hogy ilyen zúzottkővet a vasútépítésnél és fenntartásnál, felhasználni nem kívánatos.

A fentiekből azt lehet megállapítani, hogy a 65 mm-es zúzottkő anyaghoz — a jelenleg használatos 40 mm-esnél — feltétlenül kisebb szemmagyság adagolása szükséges. Ennek legalkalmasabb mérete 25 és 35 mm között van. Hazai viszonylatban az építésnél és fenntartásnál legalkalmasabbnak a Z 30/65, illetve Z 25/55 mm-es szemmagyságú zúzottkő látszik. Amennyiben ezt huzamosabb ideig nem lehetne megvalósítani, átmenetileg az I. kategóriába sorolt zúzottkő keverék felhasználását ajánljuk.

5. Az alázúzalékolás hatása, a vágány oldalirányú ágyazati ellenállásának alakulására

Az alázúzalékolással történő vágány fenntartási módszert tekintve — amely sok gondot okozó kérdés a külföldi vasutaknál is — megállapítottuk, hogy közvetlenül a fenntartási munka befejeztével a 4. táblázatban foglaltak szerint csökken, különféle zúzalékanyagok felhasználása mellett átmenetileg, a q_s talpsúrlódási, illetve q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás értéke.

4. táblázat

Előfeszített vasbetonaljas és talpfás vágány q_{ts} aljak talpfelületére jutó, illetve q_s teljes oldalirányú ellenállásának csökkenése az alázúzalékolás következtében

Alázúzalékolás az alj alatt	Zuzalék szem-szerkezet	Előfeszített vb. alj		Talpfá (bükffa)	
		q_{ts} csökkenés	q_s csökkenés	q_{ts} csökkenés	q_s csökkenés
cm	mm	% -ban			
40—40 = 80	Z 10—25	23	13	24	8,3
az alj teljes hosszában	Z 10—25	28	14,6	28	10
40—40 = 80	Z 5—15	30	15,3	31	11,3
az alj teljes hosszában	Z 5—15	36	18,6	36	13

Hazai és külföldi adatok szerint az tapasztalható, hogy ezek az ágyazati ellenállás csökkenések igen rövid ideig léteznek, mivel a járműterhelések néhány nap alatt megszüntetik azokat.

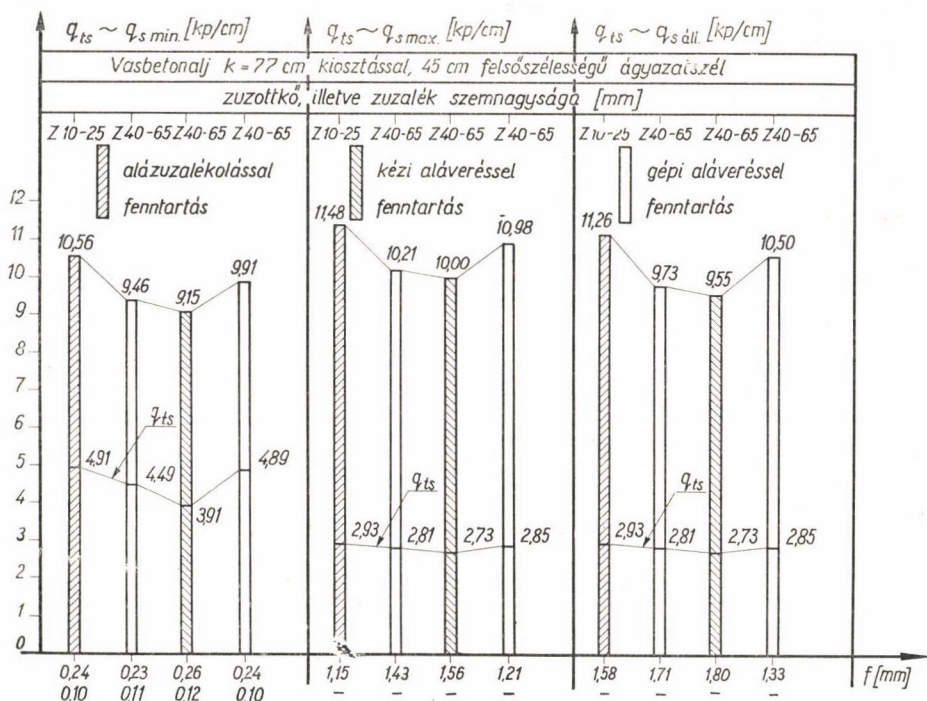
A) Üzem alatt levő vágány oldalirányú ágyazati ellenállása

A folyamatos üzem alatt álló korosabb vágányok ágyazati ellenállásának vizsgálata során valóban azt állapítottuk meg, hogy a járműigénybevétel nagymértékben növeli a q_{ts} talpsúrlódási ellenállását (4—5. ábra).

Különösen jók az alázúzalékolással fenntartott vágányok említett értékei — 33% (vasbeton), 58% (talpfá) — szemben a kézi aláveréssel elérhető 6, illetve vibrációs aláverő géppel fenntartott 25%-os értékekkel. Ebből az látszik, hogy

alázúzálékoláskor az aljak alá bekerülő tiszta zúzálékanyag — a vágány üzemi igénybevétele során — hatékonyabban segíti elő a q_{ts} talpsúrlódási ellenállási értékek fokozódását, mint az aláveréses fenntartás, mely során a megüledett zúzottkő gerendákat minden esetben meg kell bontani.

A közölt %-os értékek az új vágány hasonló adatainak összehasonlítása alapján adódtak (1. táblázat).



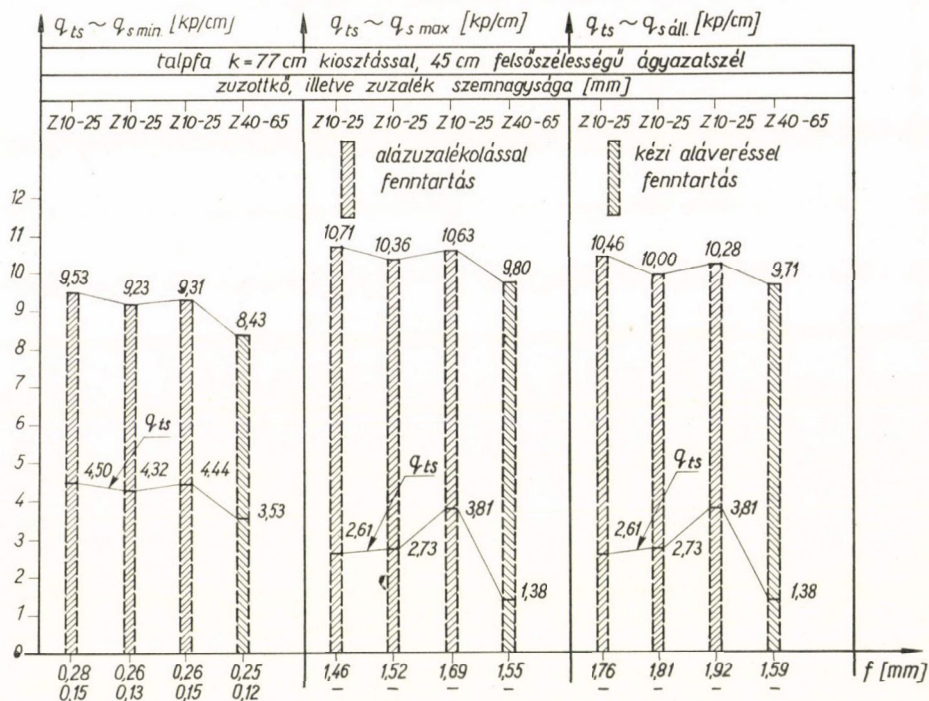
4. ábra A folyamatosan üzemeltetett Z 40/65 mm szemmagyságú zúzottkő ágyazatban fekvő alázúzálékolással és aláveréssel fekszintszabályozott vasbetonaljas vágány, oldalirányú ágyazati ellenállás értékei

A talpsúrlódási q_{ts} ellenállás növekedések végeredményben mint láttuk, a q_s teljes ágyazati ellenállás növekedésében jutnak kifejezésre. A q_s ellenállás növekedés vizsgálataink szerint pl. a vágány 3—5 éves üzemi használata után, az új vágányokra megállapított hasonló ellenállási értékeknek kétszeresét is elérheti.

Az is megállapítást nyert, hogy az üzemi igénybevételek hatására az új vasbetonaljas és talpfás vágányok közötti, q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás különbség kiküszöbölődik. A talpfás vágány tehát közel eléri a vasbetonaljas vágány q_s ellenállását. Ennek oka, hogy a zúzottkő a terhelések hatására belevágódik a fa rostjaiba.

B) Az aláverés és alázúzelékolás hatása, a vágány fekszinttartóságára

Az aláveréssel és alázúzelékolással fenntartott vágány fekszinttartóságát tekintve az volt tapasztalható, hogy az alázúzelékolással történő fenntartásánál a terhelés rezgés hatásai következtében az aljak (előfeszített vasbeton és talpfa) 61—65, illetve 59—63%-kal kisebb, maradó fekszintváltozása

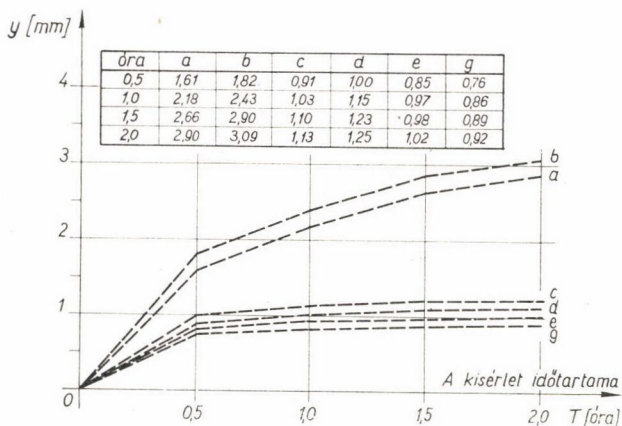
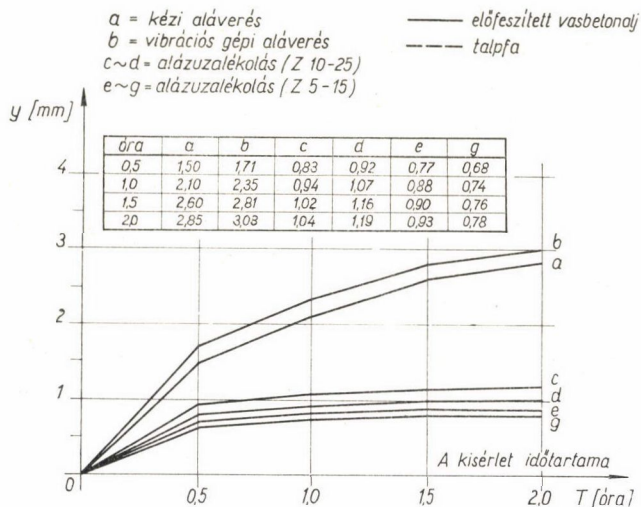


5. ábra A folyamatosan üzemeltetett Z 40/65 mm szemnagyságú zúzottkő ágyzatban fekvő alázúzelékolással és aláveréssel fekszintszabályozott talpfás vágány, oldalirányú ágyazatellenállás értékei

(besüllyedése) következik be, mint a kézi úton aláveréssel fenntartott aljagnál (6. ábra).

Meglepő, hogy legrosszabb vágányfekszint a vibrációs gépi aláverés eredményezte. Ennek oka, hogy az aláveréssel történő fenntartáskor, meg kell bontani a megüledett zúzottkőgerendát. Ekkor az ágyzatnak mindig egy tömörebb, illetve kevésbé tömörített része képződik. A járművek dinamikus hatására a tömörségbeli különbség fokozatosan megszűnik, amikor is a vágány aljzatainak újabb süppedése, illetve fekszintjének romlása következik be.

Ez a jelenség sajnos az új vágányépítésnél is fennáll — az aláverés rovására —, mivel a jól tömörített ágyzatpárnát bontják meg az aljak aláverésekor.



6. ábra A Z 40/65 mm szemmagyságú ágyzatban fekvő vágány aláverés, illetve alázuzalékolás utáni fekszintváltozása a dinamikus igénybevételek hatására

C) Az ágyzat szennyeződésének hatása, a vágány oldalirányú ágyazati ellenállására

Vizsgálva az ágyzat szennyeződésének hatását azt tapasztaltuk, hogy esős, nedves időben az üzemkőzben nagymértékben megnövekedett száraz állapotú, q_{1s} és q_{hs} (aljak talp és oldalfelületeire jutó) oldalirányú ágyazati ellenállás igen jelentős csökkenése következik be. Ugyancsak csökken az aljak homlokfelületére jutó q_{os} ellenállás értéke is.

Megállapítottuk, hogy a q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás csökkenés, pl. egy 40%-ban (súlyszázalék) homokos-agyag és szénalak ágyazatszennyeződés mellett, vasbetonajlás vágánynál 46, talpfásnál pedig 47%-ra tehető. Ugyanez az érték agyag és szénalak szennyeződés mellett 59, illetve

63%-ra adódik. Mindezek következtében már alig biztosított az a q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás, amely újonnan épült vágányok esetében nyerhető.

A kísérletekből az volt látható, hogy 40—50%-os szennyeződésnél már nem a zúzottkő, hanem a szennyező anyag domináló, az ágyazati ellenállás értékének alakulására. Ez a telítettség zúzalék használatánál, 20—25%-os szennyeződés mellett következik be. A kisebb szemszerkezet miatt azonban a szennyeződést befogadó képesség kisebb, mint a nagy szemszerkezetű (Z 40/65 mm) zúzottkőnél. Ez a tény előnyösen befolyásolja, a q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás alakulását, zúzalékolás esetén.

Kitűnt vizsgálatainkból, hogy a teljesen tiszta ágyazatú vágány q_s ellenállása, nagy esőzések idején 13—20%-kal magasabb értékre adódik. Ennek oka a csapadék hatására megváltozott zúzottkőanyag belső súrlódási viszonyának alakulásában kereshető.

Mindezekből az következik, hogy 20%-os (súlyszázalék) szennyeződés után, részleges ágyazattisztítás látszik szükségesnek. Ez az aljak előtti és az aljfiókokban levő zúzottkőanyagra vonatkozik. Ezt a munkát kis hosszúságokban nem célszerű végezteni.

Az ágyazat 40%-os szennyeződését, a szennyezettség felső fokának kell tekinteni, (100%-os szennyeződés) amikor teljes vastagságában kell gondoskodni az ágyazat tisztításáról, az értéktelenné vált zúzottkő anyag egyidejű pótlásával.

Az 5. fejezet és A, B, C részeinek áttekintése alapján az tapasztalható, hogy az alázúzalékolásos fenntartási módszernek igen sok előnye van. Ezek alkalmassá teszik arra, — nem is említve a gazdaságosság kérdését — hogy úgy a vasbeton, mint a talpfás hézag nélküli vágányaink fenntartási módszereként bevezessék.

Ugyancsak ajánlatos új vágányok építésénél, a jól tömörített (vibrációs tömörítés) ágyazatpárnán elhelyezhető zúzalékszalagokra fektetni a sínmezőket. Majd a végleges hézagmentesítés után a járművek hatásától megülepedett vágányt újabb zúzalékolással kiemelni, illetve az egyenlőtlen süppedéseket megszüntetni.

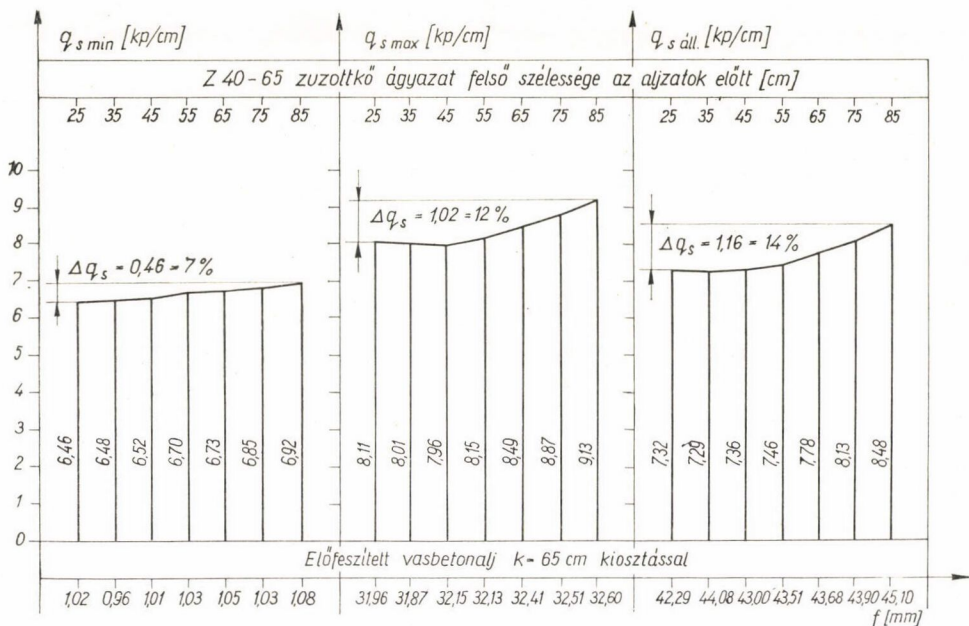
6. Az ágyazat és az alj alakjának hatása, az ágyazati ellenállás alakulására

Kísérleteink azt eredményezték, hogy (7—8. ábra):

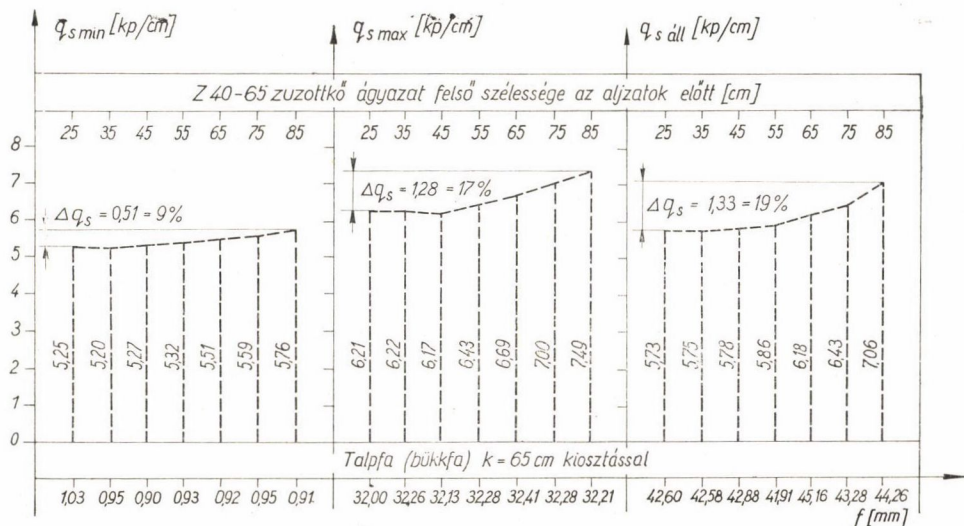
a) a 25—85 cm-ig történő aljak előtti ágyazat felső szélesség növelése hatásosan, előfeszített vasbetonaljak mellett 7, talpfák esetében pedig 9%-kal növeli, a q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás értékét. Az összehasonlítás a 25 cm-es felső ágyazatszél mellett kapott ellenállások adataihoz történt.

Ennek okát keresve azt láttuk, hogy az aljak előtti ágyazattömeg igénybevétele $\alpha_1 = 45^\circ$ -os határolt területen következik be. Ez azt jelenti, hogy a vágány 10 cm-es oldalirányú elmozdulása során a q_{vs} aljak homloklfelületére jutó ágyazati ellenállást növelő képesség hatásvonala 30 cm-nél van (9. ábra).

b) A 45 cm felsőszélességű ágyazat, aljak előtti 1:5 arányú felpúpozása, illetve ennek az aránynak megfelelően az aljak fiókjában mellőzése az ágyazati anyagnak, 18—25%-kal rontja a q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállást, a szabványos kialakítású ágyazatban fekvő vágány hasonló értékeihez viszonyítva.

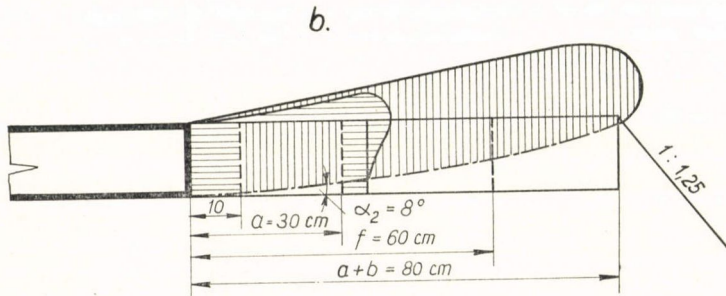
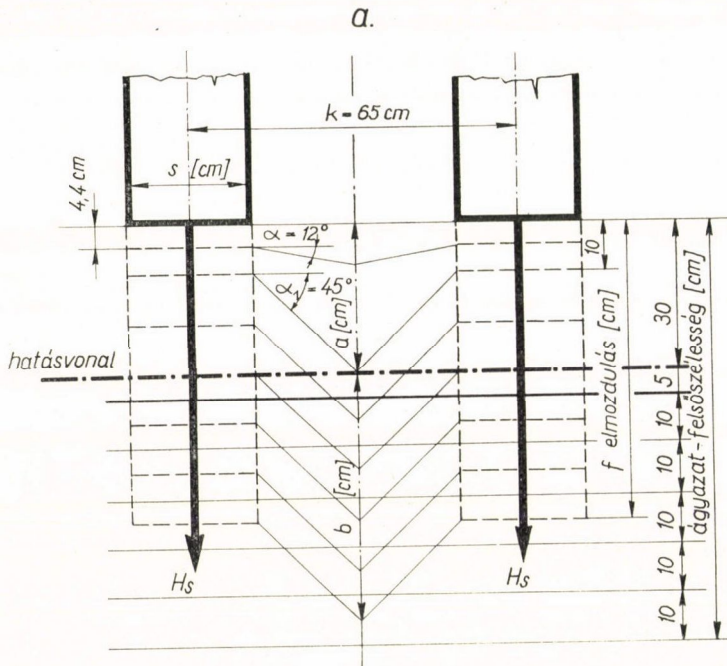


7. ábra A Z 40/65 mm szemmagyságú alj magasságában két rétegben tömörített ágyazatban fekvő előfeszített vasbetonaljas vágány, teljes oldalirányú ágyazati ellenállása, az ágyazat felső szélességének növelése mellett



8. ábra A Z 40/65 mm szemmagyságú alj magasságában két rétegben tömörített ágyazatban fekvő előfeszített talpfás vágány, teljes oldalirányú ágyazati ellenállása, az ágyazat felső szélességének növelése mellett

c) Az ágyazati anyag aljközből való elhagyása nélkül, a zúzottkő 1:5 arányú felpúpozása az aljak előtt, 5—7%-kal növeli a 45 cm felsőszélességgű ágyazatban fekvő vágány, q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállását.



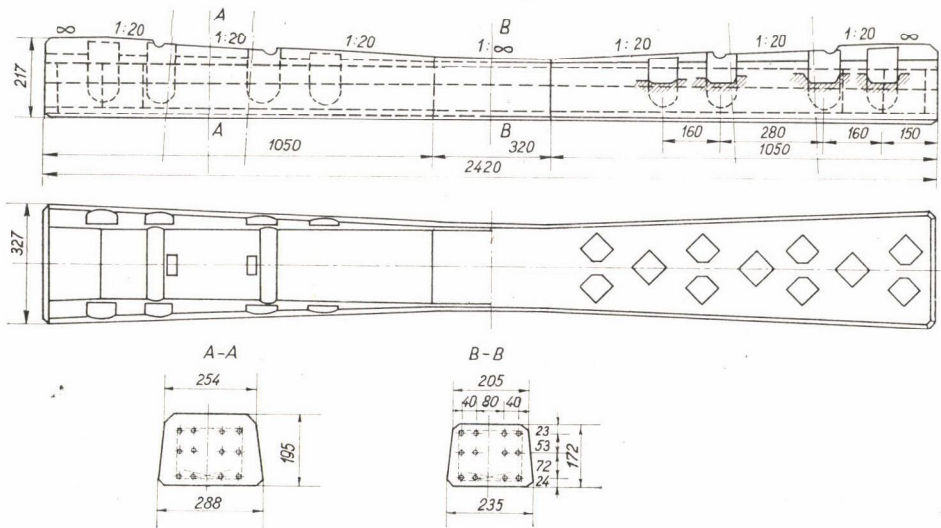
9. ábra A Z 40/65 mm szemmagyságú zúzottkő ágyazatszél igénybevétele, a vágány oldalirányú elmozdulása következtében

d) Az alj egyszíkú oldalfelületeitől eltérő alakváltoztatás a vágány q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállását nagymértékben növeli. Ennek kimutatására terveztük meg a 10. ábrán látható kettős legyező alakú kísérleti vasbetonaljakat, mintázott talp és oldalfelületekkel. E vasbetonaljakkal végzett vágányhúzatási kísérleteink azt bizonyították, hogy a kettős legyezőalakú

vasbetonalj összfelülete, (oldal és homloklfelületek) 21,6%-kal növekedett, a „T” típusú jelenleg használatos alj összfelületéhez viszonyítva.

Azt tapasztaltuk, hogy a síma oldal és talpfelületekkel kialakított kettős legyező alakú vasbetonaljakkal, az ágyazat tömörítetlen állapotában átlagosan 22,06%-kal, mintázott oldal és talpfelületekkel rendelkező aljknál pedig 34,16%-kal lehet növelni a q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás értékét, a „T” típusú aljak mellett nyerhető ágyazatellenállási értékekkel szemben.

A teljes oldalirányú ágyazati ellenállás az aljak magasságában két rétegben tömörített ágyazat mellett, síma talp és oldalfelületű kettős legyező alakú aljak esetében mintegy 24,4%-kal, illetve mintázott talp és oldalfelületek mellett 35,63%-kal növekszik.



10. ábra Kettős legyező alakú vasbetonalj mintázott talp és oldalfelületekkel

Ez a nagymértékű q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás növekedés egyértelműen azt bizonyítja, hogy a 10. ábrán látható kettős legyező alakú előfeszített vasbetonaljak, megnövelt és mintázott talp és oldalfelületek melletti kivitelezésével, illetve gyártásával foglalkozni kell. Csak egy ilyen aljtípus elégítheti ki a korszerű nagysebességű pálya fekvésbiztonságának követelményeit.

e) Az ágyazati zúzottkő szemmagyság javasolt változtatása, az ágyazat felületi gépi tömörítésének megvalósítása (aljak előtt és fiókokban), illetve az aljak alakjának átformálása esetén, az egyenesben fekvő vágányoknál az ágyazat felső szélességét az aljak előtt a jelenleg szabványos 40–45 cm-ről, 35 cm-re lehetec csökkenteni. Az $R = 600$ m-nél kisebb ívekben fekvő vágányoknál a ágyazati ellenállást az aljak előtt, 1:5 arányú ágyazat felpúpozással szükséges fokozni. Hiányos ágyazatot az aljak fiókjaiban megtűrni nem szabad.

7. Az ágyazat rugalmas ellenállása

Az ágyazat rugalmas ellenállása a vágány irányhiba mentes helyzetét befolyásoló tényezőnek tekinthető.

Vizsgálataink alapján azt tapasztaltuk, hogy a tömörítetlen (bevillázott) ágyazati zúzottkő, teljesen rugalmatlan. Ezzel szemben pl. a gépi úton felületileg tömörített ágyazat, 1,4 mm nagyságrendű rugalmas ellenállással bír. Ez azt jelenti, hogy a kísérleti vágány 1,4 mm-es kihajlását (alj elmozdulások) okozó H_s oldalirányú erő megszűntével, visszatolódott rugalmasan eredeti helyzetébe.

Ebből következik, hogy a vágány ágyazatának aljak előtti és fiókjaiban történő tömörítése, az ágyazati ellenállás nagymértékű fokozása mellett, hozzájárul a felépítmény alakváltozás nélküli (irányhibamentes) fekvésének biztonságához is.

Megállapítható tehát, hogy az ágyazat tömörítését elsősorban nem a q_s teljes oldalirányú ágyazati ellenállás növelésére való törekvés indokolja. Ezt a célt — mint láttuk — az ágyazati anyag szemszerkezetének megváltoztatásával, az aljak alakjának újabb kialakításával stb. is el lehet érni. Vizsgálataink azt bizonyítják, hogy az ágyazat tömörítését elsősorban az ágyazat rugalmas ellenállásának biztosítása a zúzottkő térfogatsúlyának növelése, illetve a teljes ágyazatvastagság összefüggő tömörítettségének szükségessége indokolja, a pálya teljes hosszában.

Éppen ezért az ágyazat felületi tömörítését vibrációs gépek felhasználásával szükséges biztosítani az aljak előtt és azok fiókjaiban egyaránt. E célra megfelelő vibrációs gépeket kell szerkeszteni, illetve beszerezni. A gépi tömörítés megvalósításáig kézi úton célszerű az ágyazatot az aljak magasságában kétrétegben tömöríteni. Amennyiben az ágyazatszél tömörítése már a Bigmann-féle géppel történik, úgy csak az aljfiókokban levő ágyazati anyag kétrétegű tömörítése szükséges.

Az ágyazattömörtség egyenletességét a pálya hosszában és az ágyazat vastagságában, izotópos mérőműszerekkel szükséges megállapítani.

IRODALOM

Nagy József: A vágány oldalirányú ágyazati ellenállását befolyásoló tényezők vizsgálata, tekintettel a hézag nélküli felépítmény fekvésbiztonságára. (Kézirat) Bp. 1963.