

Módszer sűrű közúti járműfolyam mozgásjellemzőinek elemzésére

FLEISCHER TAMÁS

1. Bevezetés

E tanulmányban egy 1972-ben készített adatfelvételt értékelünk. A mérések céljával eredetileg a Balaton—Budapest közötti M7-es autópályán bevezetett nyári, hétfélig egyirányúsítás megfigyelését, illetve a szűk keresztmetszetet képező budapesti bevezető szakaszon várható torlódás elemzését tűztük ki, ezen belül az M1—M7-es utak találkozásánál a forgalomirányítás megfelelőségének vizsgálatát. A három nyári vasárnapon végzett adatfelvételek néhány közvetlen eredményét az ún. hétfélig jelentésekben foglaltuk össze [1].

A speciális forgalomszámlálás azonban lehetőséget adott néhány további tanulság levonására, elsősorban a forgalmi folyamat természetét kutató és a forgalmat befolyásoló módszerekkel kapcsolatban, amelyeket e tanulmányban ismertetünk.

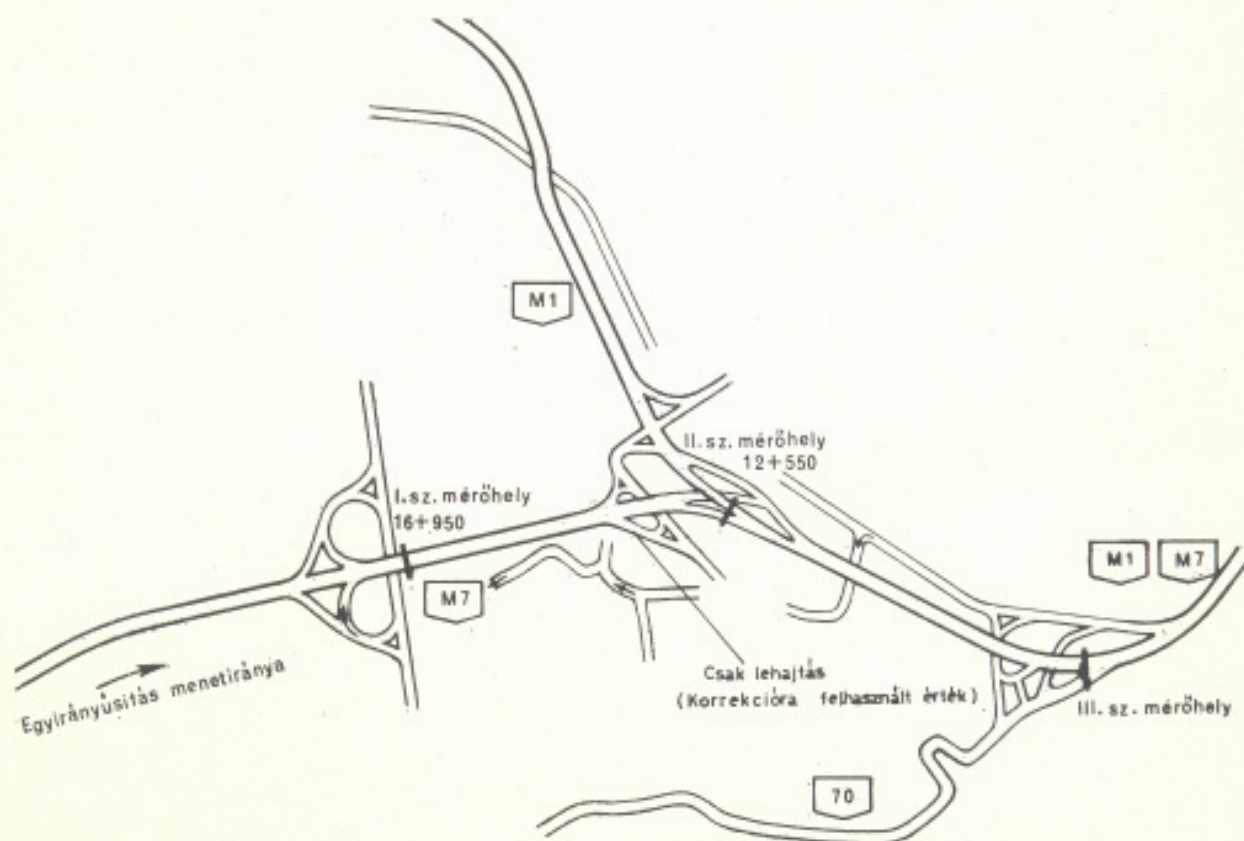
2. A felvételi módszer ismertetése

A vasárnap délutánonként végrehajtott mérést két keresztmetszetben (1. ábra) egyeztetett órákkal való folyamatos forgalomszámlálással végeztük. A két keresztmetszetet úgy választottuk ki, hogy közé ne essen csomópont. Az összeget a szokásos időközöktől eltérően percnként feljegyez-

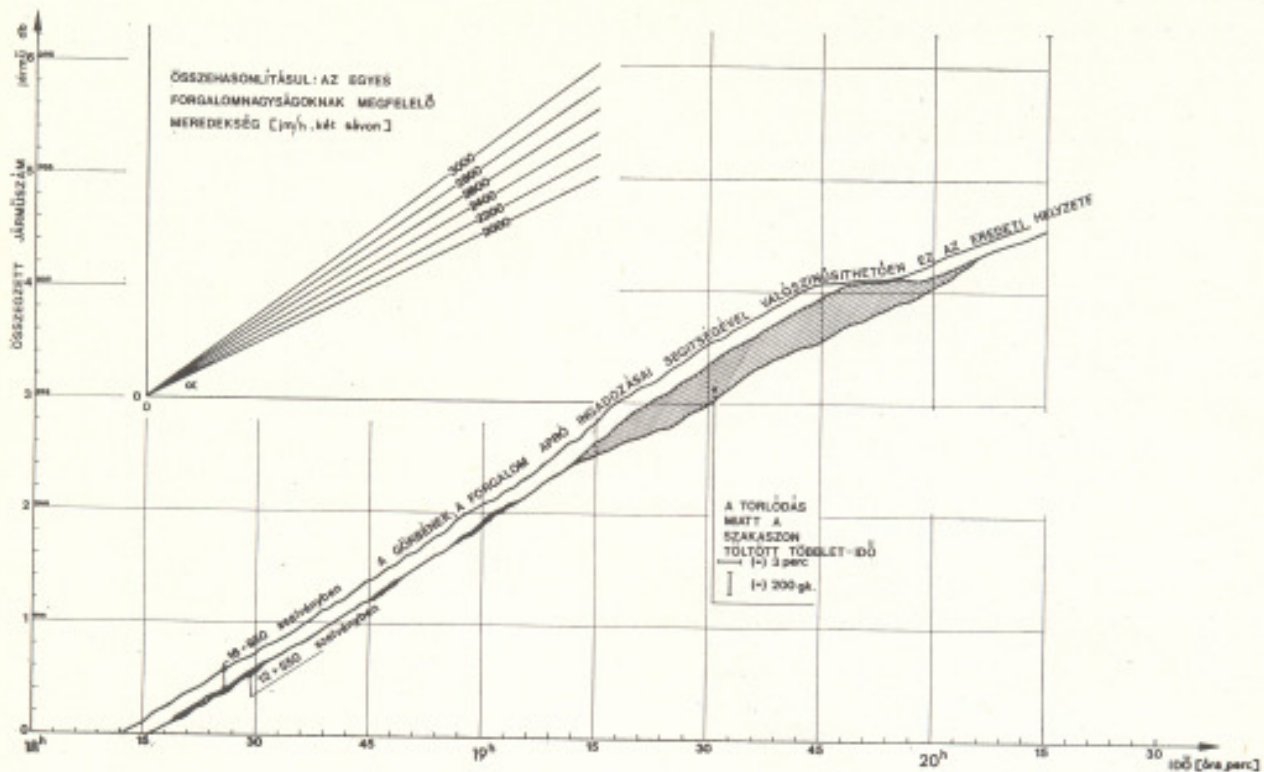
tük. Kezdetben sávonként egy-egy személy számolta az adott keresztmetszetben áthaladó járműveket, egy személy pedig percnként bemondta az időt. Ilyenkor a számolók leírták azt a számot, ahol éppen tartottak és újrakezdtek a számolást. A külön időmérő feleslegesnek bizonyult, a kisebb forgalmú sávon számláló személy tudott figyelni az órára is.

Később a mérést a sebességi és sűrűségi viszonyok megállapítására is kiterjesztettük, egy mérőkocsi bevonásával.

A mérést rövidebb időszakokként ellenőrizni akartuk, egy esetleges hiba hatásának elhatárolása érdekében. Ezért a mérési szakaszon mintegy félóránként végighajtottunk a mérőkocsival. Jelzősüncire a számlálók feljegyezték, mikor ért hozzájuk a mérőkocsi. A gépkocsival sebességet mérünk és egyidejűleg számoltuk a mérőkocsit a mérési szakaszon megelőző és a kocsi által előzött járművek különbségét. Ezáltal egyrészt a mért sebességből következtethettünk a kocsi közvetlenül környező járműkonvoj átlagsebességére, másrészt tudtuk, hogy abban a pillanatban, amikor a kocsi elhagyta a mérőszakaszt, hány jármű haladt a két mérőhely között. Ez a szám a sűrűség meghatározásához szükséges.



1. ábra. A mérés helyszíne



2. ábra. Az összegzett idővesztések számítása

3. A mérési adatok feldolgozási lehetőségei

3.1 Idővesztés számítása a mérési szakaszon

A közvetlen mérési eredmény az adott keresztmetszetben percenként áthaladt járművek száma volt. Ebből először folyamatos összegeket állítottunk elő, majd ezek segítségével mindkét keresztmetszetben megrajzoltuk az idő — összegzett járműszám diagramot (2. ábra). Ebben az ábrázolásban a görbe meredeksége ($tg \alpha$) arányos a forgalom nagyságával. (Az ábrán feltüntettük — összehasonlításul — néhány kerek számú forgalom nagyság irányzóját is.)

A két görbe az 1972. VI. 11-i mérés adatsorát ábrázolja. Ekkor a mérőkocsival nem végeztünk ellenőrzést; egyetlen járművet sem tudtunk tehát biztosan azonosítani. A megszámlált forgalom apró változásai, hullámjelenségei azonban a 4,4 km alaphossz végpontjain igen jól megfeleltethetők egymásnak, így a két görbe egymásnak megfelelő szakasza — mindaddig, amíg a forgalomáramlás folyamatos volt — szinte fedésbe hozható egymással. Ilyen módon tehát egyes járműoszlopokat tudunk azonosítani.

19h 15 perc után a két görbe eltávolodik egymástól, ami azt mutatja, hogy ebben az időszakban a szakaszt kevesebb jármű hagyta el, mint amennyi oda behaladt. A két görbe közötti, vízszintesen mérhető távolságok az abszcissa léptékben azt mutatják, hogy egy-egy jármű mennyit volt kénytelen a szakaszon feleslegesen időzni. Ha függőleges metszetet készítünk, arról az olvasható le, hogy egy adott időpontban a szakaszon mennyivel több jármű tartózkodott, mint a folyamatos haladásnál ugyanilyen forgalom nagyság — és megfelelő kapa-

citás — esetén az törvényszerű volna. A két görbe közé zárt terület [$j\text{m}/\text{h}$] mértékegységben az adott időszakban a szakaszon áthaladó járműveknek az összes idővesztésével arányos, s mint ilyen, a forgalmi körülmények minősítésére felhasználható érték. Az adott szakaszon ez a veszteség a kritikus időszakban kb. 220 óra volt, s ez mintegy 2000 jármű között oszlott meg, azaz átlagosan 6,63 perc járművenként a 4,4 km-es szakaszon. A legkedvezőtlenebb percekben a forgalom a Highway Capacity Manualból ismert „E” szintig jutott: a folyamatos haladás rövid időszakokra megszűnt és a járműoszlop feltorlódott. Mintegy fél óra elteltével, az ábráról láthatóan, a szakaszra beáramló forgalom 10–12 percig szünetelt (elterelés miatt, de ennek oka tulajdonképpen egy baleset volt, tehát a torlódástól független.)

Ez alatt a szakaszt a feltorlódott járművek el tudták hagyni, és amikor a 16+950-es szelvényben újra megindult a forgalom, a szakasz már képes volt ismét a forgalom folyamatos lebonyolítására. Érdeemes a folyamatot követni a forgalom nagyságokkal is: a két sávon 2600–2800 $j\text{m}/\text{h}$ forgalom még folyamatosan le tudott bonyolódni: mikor azonban a belépő forgalom 2800 $j\text{m}/\text{h}$ fölé emelkedett, a szakasz átbocsátóképessége lecsökkent, kisebb-nagyobb ingadozásokkal kb. 2000–2100 $j\text{m}/\text{h}$ átlagos értékre.

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy ez a vizsgálat nem mutat rá: mi okozza a kapacitás csökkenését. A mérési szakasz előtt is két sáv áll rendelkezésre és a 2800 $j\text{m}/\text{h}$ -nál nagyobb forgalom mégis létrejöhett. (A helyszínen megállapítottuk, hogy a budapesti bevezetés torlasztotta vissza a jármű-

sort.) A vizsgálat tanulsága viszont, hogy a forgalom megfelelő időben való elterelése igen hatékony beavatkozás. Képes ugyanis arra, hogy a torlódási szakasz kiürítésével a „kötött” forgalom vissza-kerüljön a „szabad” forgalom állapotába és biztosítsa a hozzátartozó nagyobb átbocsátóképességet.

Két keresztmetszetben a forgalom folyamatos számolása és a különbségek folyamatos előállítása viszonylag egyszerű feladat. Segítségével azonban elérhető, hogy egy autópályaszakaszon „percekész” adatok álljanak rendelkezésre a készülő torlódásról, s így a megelőző csomópontokon a forgalom rövid időre azonnal elterelhető, hogy ezzel a magasabb átbocsátóképesség fenntartható legyen.

3.2 Térbeli-időbeli forgalomfelvétel

Ismeretes, hogy a keresztmetszeti (időbeli) mérések (pl. a forgalomzámlálás) — de a térbeli mérések is — viszonylag bevált módszerekkel lebonyolíthatók, sőt automatizálhatók, együttesükből azonban a forgalom térbeli-időbeli alakulása nem állítható elő. A forgalom nagyság és a sűrűség egyidejű előállítása általában az egyes járművek azonosítását kívánja meg. A már ismertetett adatokból most bemutatjuk egy egyszerű és igen sok célra alkalmas térbeli-időbeli összefüggés előállítását.

A 3. ábra abszcisszáján az út szelvényezését (km), ordinátáján az eltelt időt (óra, perc) tüntették fel. A mérési keresztmetszetekben azt is felírtuk az időtengelyre, hogy egy adott percig bezárólag hány jármű haladt át az illető keresztmetszeten az általunk tetszőlegesen felvett kezdő időpont óta. (Ez a számoszlop tehát azonos a 2. ábrán az eltelt idő függvényében ábrázolt összegezett járműszámmal.)

Tegyük fel, hogy egy járműről tudjuk, hogy a 16+950-es szelvényben X -ediknek számolták; ugyanerről tudjuk azt is, hogy a 12+550-es szelvényben Y -odikként érkezett (X, Y). Tegyük fel, hogy a mérési szakaszon senki sem előzte meg és senkit nem előzött meg. (Vagy ha igen, akkor a különbség ismeretében a sorszám módosításával ugyanennek megfelelő helyzet előállítható.) A 3. ábrán a már említett apró forgalmi változások figyelembevételével felvettük egy ilyen járműnek a szakasz hossza szerint átlagosított út-idő diagramját egyenes vonallal. ($X=600, Y=160$). Ha viszonylag bonyolultabb felvételi módszerrel [2] minden járművet azonosítanak a két mérési helyen, akkor — attól függően, hogy a mérési keresztmetszetek közötti egyenletes sebesség feltételezése mennyire indokolt — a szakaszon lezajlott folyamatokról igen sok információt rögzítettünk. Azt állítjuk azonban, hogy ha a folyam *átlagos* sűrűségi, sebességi, forgalomnagysági viszonyaira, illetve ezek összefüggéseire van szükségünk, — és eltekintünk néhány szintén fontos jellemző, pl. az összes előzések száma, a sebességek eloszlása stb. megismerésétől — akkor a 2. pontban közölt felvételi módszerrel mindez kielégítő pontossággal megkapható.

Tekintsünk ugyanis az ($X; Y$) mérőszámokkal jelzett jármű után egy-egy jármű út-idő vonalának az

($X+100; Y+100$) ($X+200; Y+200$) stb. mérőszámok között húzható egyeneseket. Valójában valószínű, hogy nem egy-egy jármű útját kísérjük, hiszen a szakaszon lezajlott előzések a sorrenden változtatnak. A *változtatás* iránya azonban az átlagosított: vagyis ezek a „járművek” az átlagos viszonyokat jobban képviselik, mintha minden századik jármű tényleges adatát dolgoznánk fel: *a közbeeső 99 jármű viszonyairól alkotott képet pedig nem változtatják meg.*

A 4. ábrán igazoljuk ezt az állítást. A 4a ábrán hat jármű út-idő diagramját látjuk, a 4b ábrán pedig azt a helyzetet, amikor az érkezési sorrend szerinti számokat összekötve, „helyettesítő” járműveket alkotunk.

Az időtengellyel párhuzamos metszetek egy adott keresztmetszet forgalomnagyságát adják: nem túl kis időközöket figyelembevéve a változtatás hatása elhanyagolható (l. a 3. ábrán is).

Az abszcisszával párhuzamos metszet a *sűrűségről* ad felvilágosítást, egy adott időpontra vonatkozóan. Egy ilyen tengelyt (3. ábra) az adott időpont előtt a szakaszra lépő és az adott időpont előtt a szakaszt elhagyó járművek különbsége metsz. Mivel (egyirányú forgalomban) negatív sebesség nem fordulhat elő, a metszéspontok számán, azaz a sűrűségen *nem is tudunk változtatni.*

Valamivel bonyolultabb a *sebességek* kérdése. A 4. ábra alapján azt tudjuk igazolni, hogy a változtatás következtében nem változik meg a szakaszra vonatkozó *menetidők* átlaga. A menetidők átlaga ugyanis

$$\frac{\Sigma (\text{kilépési idő} - \text{belépési idő})}{\Sigma \text{ utazások száma}}$$

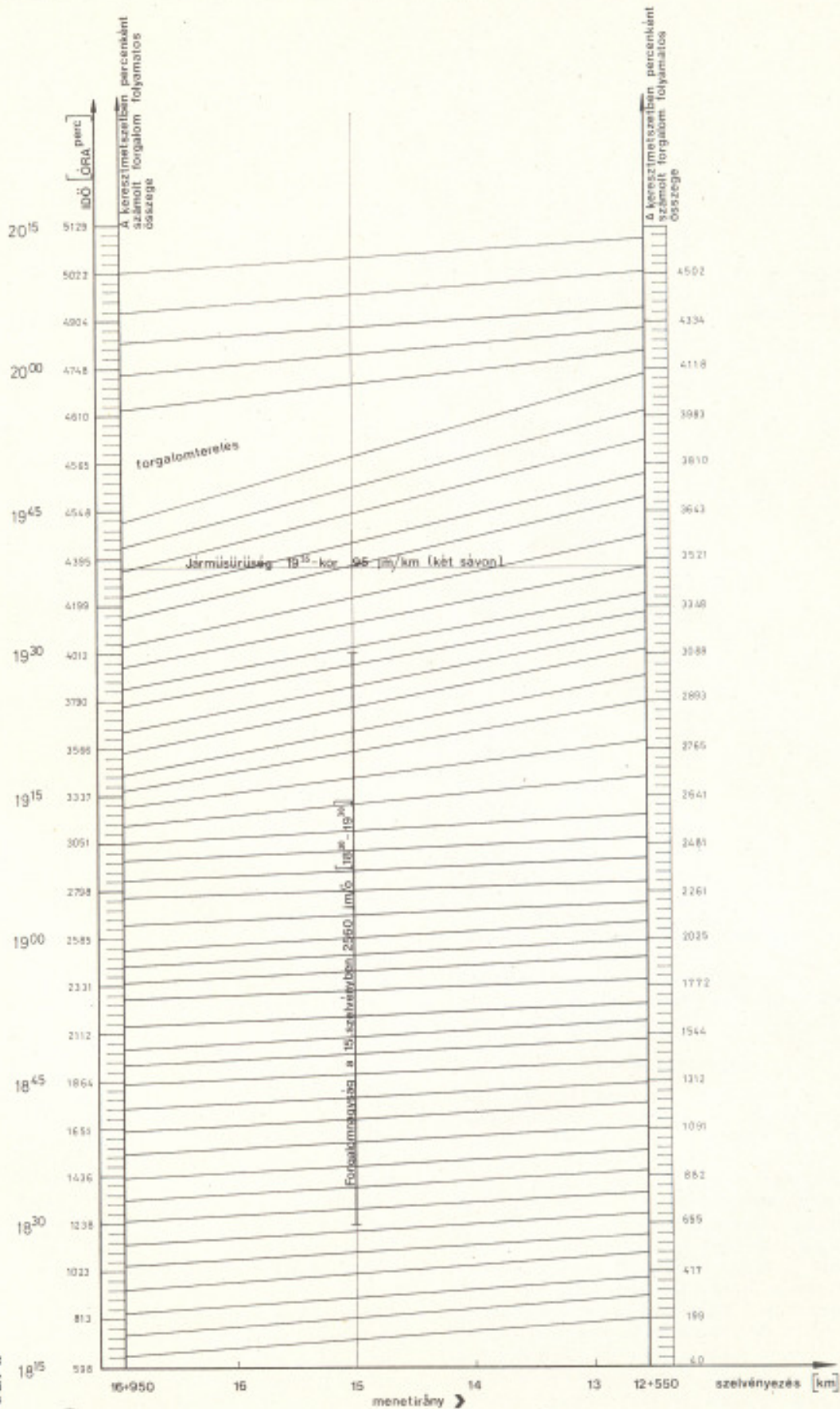
alakban kapható meg. A ki- és belépési időpontokon azonban nem változtatunk: más párosításban ugyan, de ugyanazok szerepelnek továbbra is. A zárójelek felbontásakor az összes kilépési idő pozitív, az összes belépési idő negatív előjellel szerepel; így a párosításnak nincs jelentősége.

A sebességben azonban az idő a nevezőben szerepel, így a menetidő átlaga az állandó alaphosszon tulajdonképpen a sebességek reciprokának számtani közepét jelenti. Vagyis ilyen módon a *sebességek harmonikus közepéről* igazolható, hogy nem szenvedett változást.

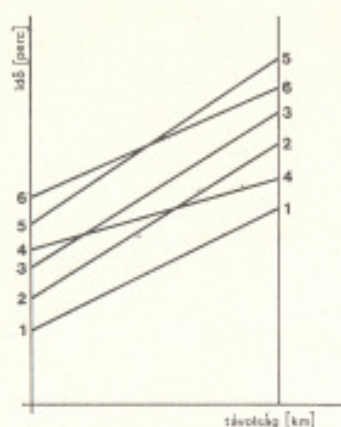
Az, hogy a sebességeknek a harmonikus átlagát vegyük figyelembe, indokolható minden olyan esetben, amikor *idővesztéssel* kapcsolatos (pl. gazdasági stb.) számításokat végzünk. [3] Minden esetben figyelembe kell azonban venni, hogy az általában alkalmazott sebességszámítások *számtani közép*re és nem harmonikus középre vonatkoznak.

4. Mérési eredmények grafikus feldolgozás alapján

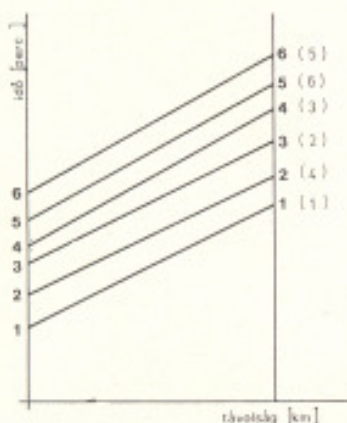
Mint említettük, a felvételi módszert 1972. VII. 2-án mérőkocsi bevonásával kibővítettük, így a 3.2 pontban leírt feldolgozás is megbízható kezdő adatokra támaszkodhatott. Az alaposabb feldolgozást így erre a napra vonatkozóan végeztük, bár a forgalom növekedése kevésbé plasztikusan jelentkezett, mint a bemutatott esetben.



3. ábra. Az 1972 június 11-i felvétel. Térbeli-időbeli ábrázolás



4/a. ábra. A tényleges út-idő ábra



4/b. ábra. A figyelembevéti út-idő diagram

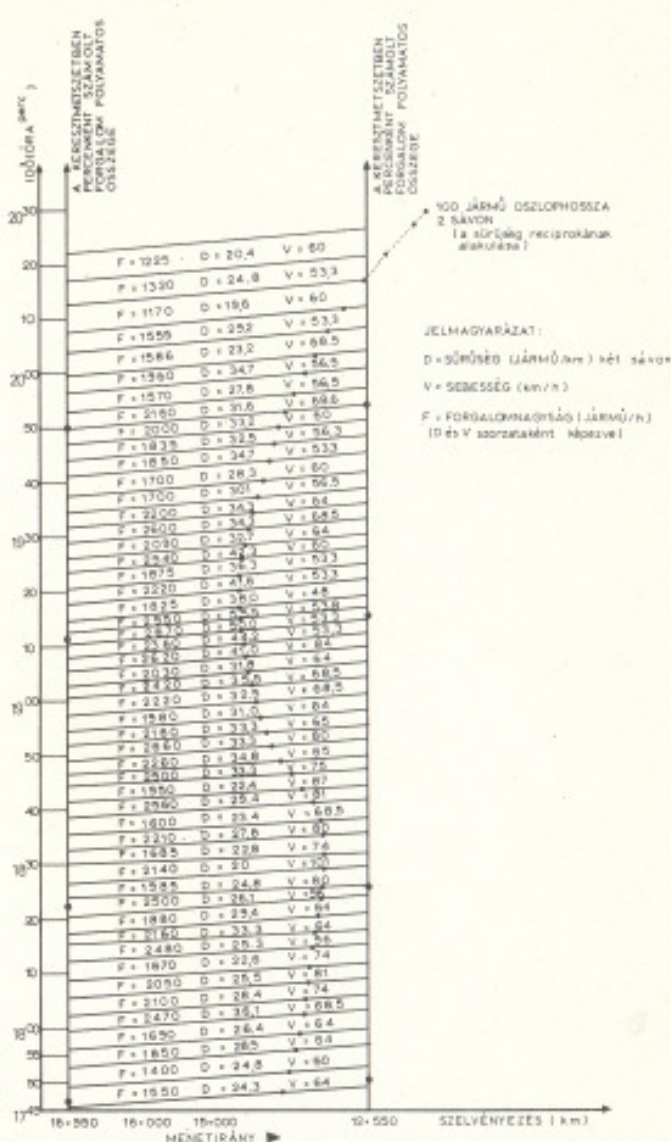
Az 5. ábra megfelel a 3. ábra ábrázolásmódjának. Ezúttal az összegezett járműszám adatait nem írtuk végig fel az időtengely mentén, de természetesen a feldolgozás ezúttal is ezeken a számokon alapult. Minden századik „járműre” vonatkozóan feltüntettük az út-idő egyenes meredekségéből következtethető *sűrűség* (D), *átlagssebesség* (v) és *forgalomnagyság* (F) értékeit. A sűrűséget a megelőző 100 jármű oszlophossza alapján lemértük, a sebességet pedig a megfelelő egyenes hajlásszöge képviseli.

Az ordinátán fekete pontokkal megjelöltük a négy alkalommal végighaladó mérőkocsi (előzésekkel redukált) kontrolpontjait.

Az 5. ábrán kiszámított összetartozó *sűrűség*, *sebesség* és a kettő szorzataként képzett *forgalomnagyság* értékeket a 6. ábrán függvénykapcsolatban ábrázoltuk.

A forgalomnagyság-sebesség mezőben a bemutatott pontokat időbeli egymásutánjukban összekötöttük, hogy az összefüggés időbeli alakulása is figyelemmel kísérhető legyen.

A nem túl nagy pontosságú grafikus feldolgozás miatt messzebbmenő következtetéseket nem kívánunk az ábrából levonni. Elsősorban a feldolgozási lehetőségekre kívánjuk ezúton felhívni a figyelmet. Különösen figyelemreméltó, hogy hasonló-



5. ábra. Az 1972 július 2-4 felvétel. Térbeli-időbeli ábrázolás

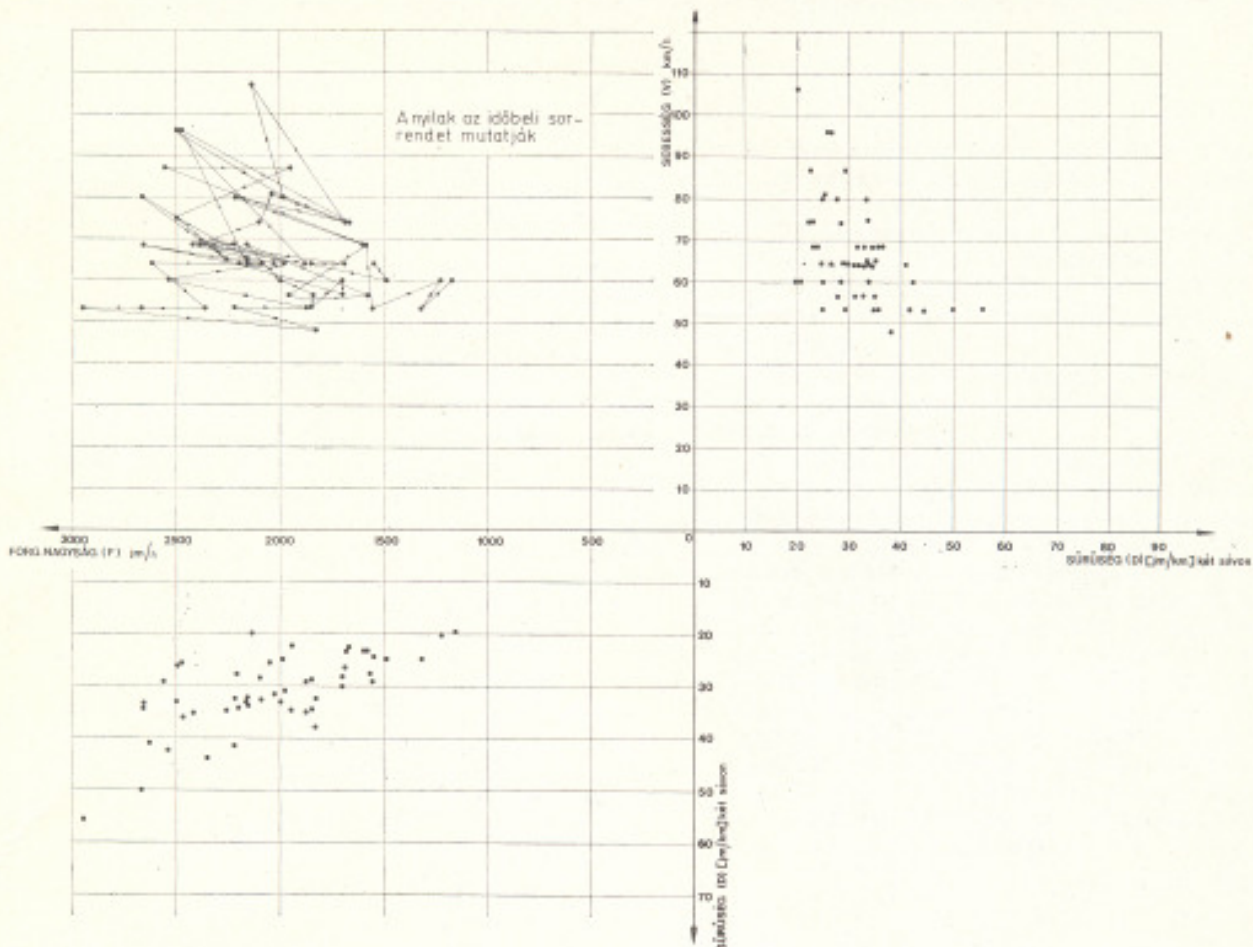
képpen ábrázolható az összefüggés a 3. ábra alapján is, ahol pedig konkrét sebességmérést egyáltalán nem végeztünk.

5. Javaslato

A forgalmi folyamat természetének vizsgálatában feltétlenül szükséges a forgalomsűrűség mérésének, a forgalomsűrűség és egyéb tényezők kapcsolatának tanulmányozása.

Ha a vázolt nyomon sikerül egyszerű mérési módszerrel ezeket az összefüggéseket mélyebben megismerni, akkor jelentős lépést tehetünk a forgalmi folyamatra vonatkozó elméletek közvetlen alkalmazásában is. Tisztában vagyunk azzal, hogy ebben az önálló kezdeményezésű témában az eddig rendelkezésre álló idő alatt nem sikerült a kérdéseket megoldani. Ezért a forgalom elemzésének erre a módjára elsősorban, mint további módszerbeli kutatási lehetőségekre kívánunk rámutatni.

Jelen vizsgálat kézi felvételen és kézi feldolgo-



6. ábra. Az összetartozó sűrűség-sebesség, sebesség-forgalomnagyság és sűrűség-forgalomnagyság értékek

záson alapult. A módszeren belül a technika is fejlesztésre szorul. Így első lépésként

— a *feldolgozás gépesítése* képzelhető el, hiszen a percnkénti forgalomnagyságok összegezése, összehasonlítása, a különbségek képzése, az interpolálás, a rajzolás stb. zömében gépies, egyszerű műveletek tömeges végrehajtását igényli. Később

— az eredmények elemzése dönti majd el, hogy érdemes-e a *forgalomfelvétel automatizálásával* is foglalkozni.

Még egyszer felhívjuk a figyelmet a 3.1 pontban részletezett kutatásokra, melyek a torlódási idővesztésekkel foglalkoznak. Ez a rész ugyanis az elméletnek a közvetlen gyakorlati felhasználáshoz jelenleg legközelebb álló része. Egyrészt

— az *összegzett idővesztéseknek*, mint *forgalmi minősítő tényezőnek* a bevezetését javasoljuk, másrészt

— az autópályák forgalmi torlódásait csökkentő, *megelőző forgalomeltemelések kritériumait* és a közvetlen beavatkozás időpontját számszerűsíthető feltételekhez kapcsoló forgalomfigyelést tartjuk fejlesztendő megoldásnak.

6. Összefoglalás

A tanulmány az 1972 nyarán, a hétvégén egyirányúsított M7-es úton tartott speciális forgalomszámlálást értékeli. A számlálást két keresztmet-

szetben folyamatosan, a percnként áthaladt járműszám rögzítésével végezték.

Az értékelés a mérési szakaszon torlódás miatt bekövetkezett *idővesztések számítására* alkalmas módszert ismertet, rámutatva a forgalomeltemelés előnyös hatására.

A tanulmány a forgalom apró időbeli változásaira, majd a mérésben résztvevő gépkocsi sebességadataira építve *térbeli-időbeli forgalomfolyási átlagjellemzőket* állít elő és ezek alapján forgalom-sűrűség, a forgalomnagyság és a sebesség összefüggésének ábrázolásáig jut el.

A kézi felvétellel és kézi feldolgozással előállított eredmények elsősorban az elemzési módszert mutatják be és további konkrét kutatások megalapozását teszik lehetővé.

IRODALOM

- [1] A közúti forgalom figyelemmel kísérése. Jelentés az M7 sz. út vasárnap délutáni egyirányúsításáról, a hétvégi balatoni stb. forgalom vizsgálatáról. 1972. június 10–11. és 1972. július 1–2. Bp. 1973. Közúti Közlekedési Tudományos Kutató Intézet.
- [2] *Koren Csaba*: A közúti utazási sebesség vizsgálata egyes budapesti útvonalakon, Közlekedéstudományi Szemle, 1973. évi 3. sz.
- [3] *Fleischer Tamás*: Utazási és helyváltoztatási sebesség vizsgálata Budapesten, Diplomaterv, Bp. 1971.