

Autópályák forgalomszabályozásában felhasználható egyszerűsített forgalommegfigyelési módszer.

1./ Bevezetés.

A forgalom szabályozása lényegében egy folyamat szabályozása, tehát egy folyamatba való külső beavatkozás. Ha ezt a beavatkozást az operatív cselekvés oldaláról közelítjük meg, a forgalmi szakembernek két kulcskérdésre kell válaszolni:

(1) Mikor kell beavatkozni a folyamatba és (2) Hogyan kell beavatkozni.

Ahhoz azonban, hogy ezt előírhassuk, először meg kell ismernünk azt a rendszert, amit szabályozni akarunk, és meg kell ismernünk a változtatásoknak, külső beavatkozásnak a rendszerre gyakorolt hatását. Ez után írhatjuk elő, hogy az operatív szabályozás fenti két teendőjének ellátásához (1) mit kell mérni, és ezt (2) hogyan kell feldolgozni.

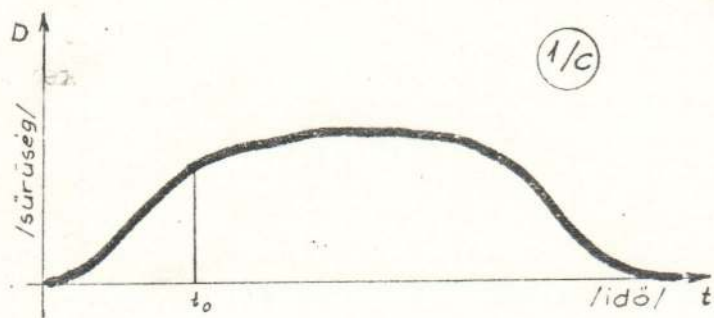
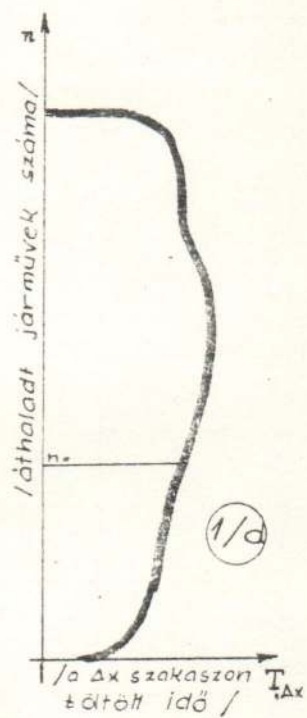
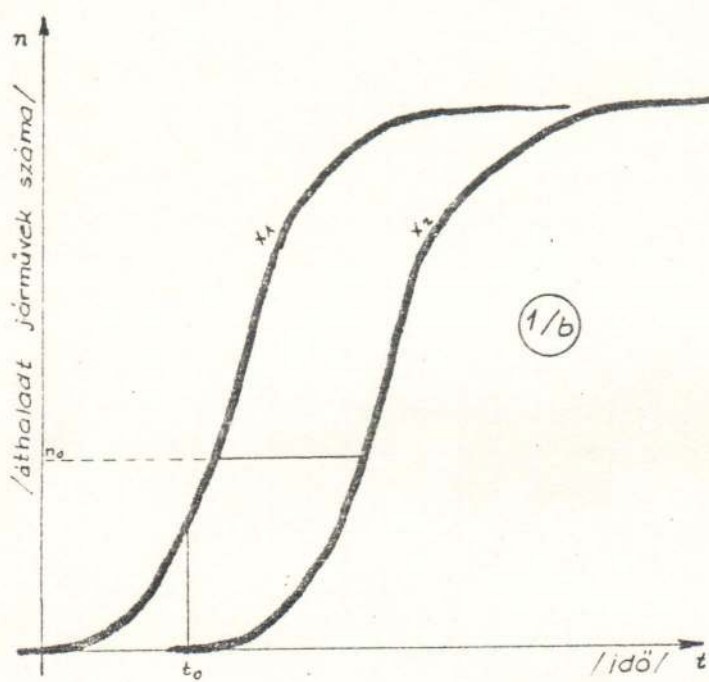
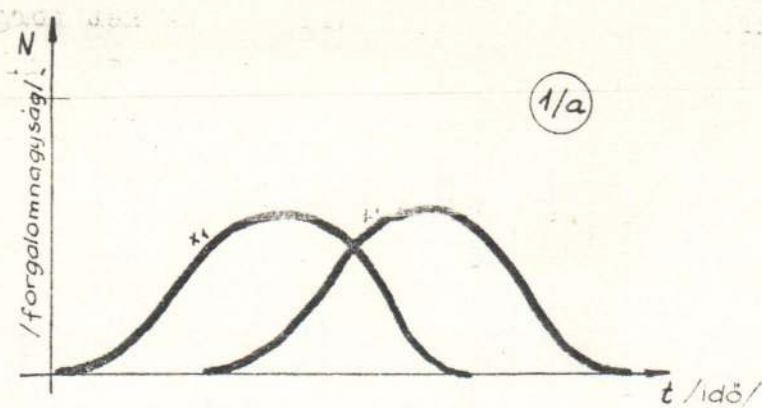
Jelen előadás ez utóbbi kérdéseket, tehát a "mit mérni" és a "hogyan feldolgozni" kérdéskörét kívánja elemezni.

2./ A mérés alapelve.

Képzeld el, hogy - az egyszerűség kedvéért egy forgalommentes időszakban - az autópálya valamely x_1 pontján mérni kezdjük az előttünk egy irányban, valamely időegységenként áthaladó forgalmat, vagyis N forgalomnagyságot. Tegyük fel, hogy a mérés időtartama folyamán a forgalomnagyság értéke megnő, majd ismét lecsökken, ahogy azt az 1/a. ábrán az x_1 paraméterű görbe mutatja.

Mérjük meg ugyanakkor egy x_2 helyen is hasonló módon a forgalomnagyságot. Ide valamivel később fog az első jármű, - majd rendre a forgalom felnövekedése is - eljutni.

Hogy mennyivel később, az le is olvasható az 1/a. ábrából az x_1 és x_2 paraméterű görbék között. Szemléletesebb - és több -



1. ábra. A forgalomfelvétel és -feldolgozás alapelvei

információt szerezhethetünk azonban, ha előállítjuk a két forgalomnagyság - lefolyási görbe összeggörbéjét, amint ezt az 1/b. ábrán be is mutatjuk. Itt tehát az ordinátán az egyes keresztmetszetekben a mérés kezdete óta áthaladt járműszámot olvashatjuk le. Így a két összeggörbe között, az ordinátával párhuzamos szakasz hossza éppen a t_0 időpontban a szakaszon tartózkodó járművek számát mutatja meg. Ez viszont - ha az

$x_2 - x_1 = \Delta x$ szakasz hosszát egységnyinek választjuk - éppen a szakaszra vonatkozó, t_0 időpontban vett járműsűrűség értéke. Az 1/c. ábrán így előállítottuk a pillanatnyi sűrűség értékeit az idő függvényében.

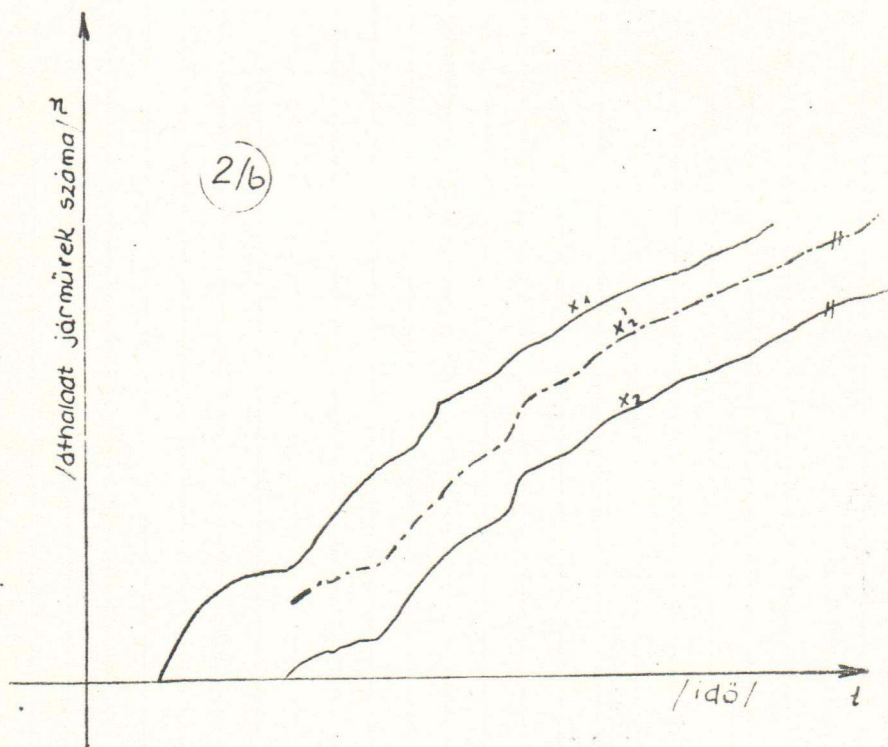
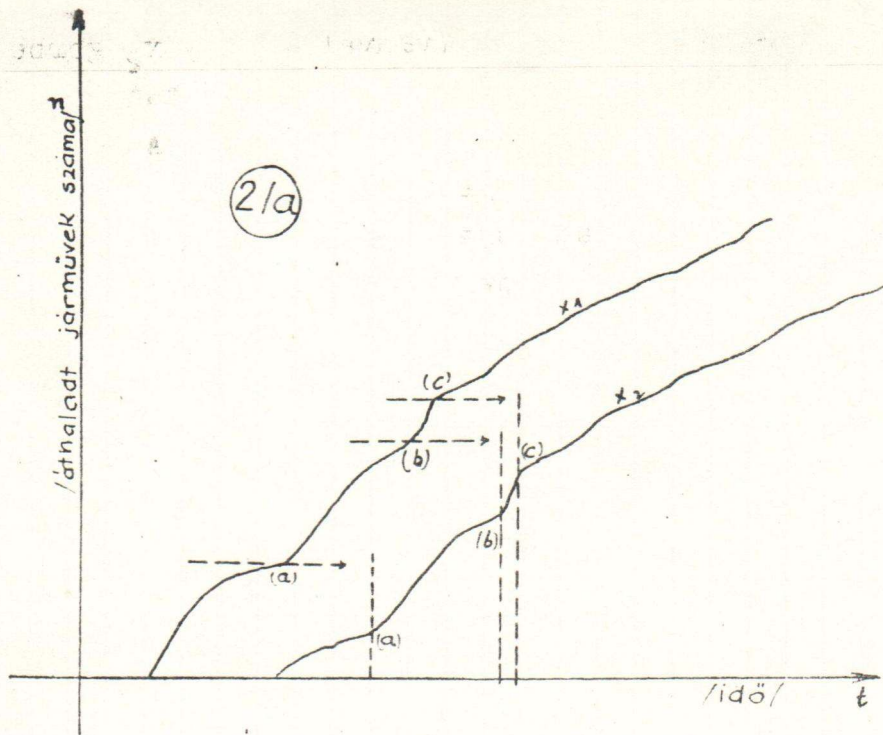
Ha viszont az összeggörbék között az abszcisszával párhuzamosan mérhető szakasz-értékek fizikai jelentését vizsgáljuk, azt látjuk, hogy e szakaszok valahányadik (n_0) járműnek a Δx szakaszon töltött idejét reprezentálják. Az 1/d. ábrán tehát a járműveknek a szakaszon töltött idejét ábrázoltuk függvényeszerűen.

Megjegyezzük, hogy a szakaszon belül lezajlott előzések az egyes járművek sorszámát megváltoztathatják. Ekkor a fenti megállapítás nem érvényes. Egyelőre tehát tekintsük úgy, hogy a Δx szakaszon belül nem kerülhetett sor előzésre. A későbbiekben ezt a feltételt fel fogjuk oldani.

3./ Járműoszlopok azonosítása.

A valóságban általában nincs lehetőségünk arra, hogy a méréseket forgalommentes időszakban kezdjük el. Így ha x_1 és x_2 helyen elkezdjük mérni az idő függvényében az áthaladt járművek számát, nem tudjuk, hogy valamely jármű, amely az x_1 keresztmetszetben az n_j -ik sorszámot kapta, hányadik járműnek felel meg x_2 keresztmetszet adatsorában. Az azonosításhoz azonban hozzásegítenek bennünket a forgalom apró /perces nagyságrendű/ időbeli ingadozásai.

A 2/a. ábrán ismét két keresztmetszetben felvett forgalomnagyság összeggörbéjét látjuk az idő függvényében. Feladatunk tehát, hogy az x_1 jelzésű görbéhez képest megállapítsuk az x_2



2 ábra. Járműoszlopok azonosítása

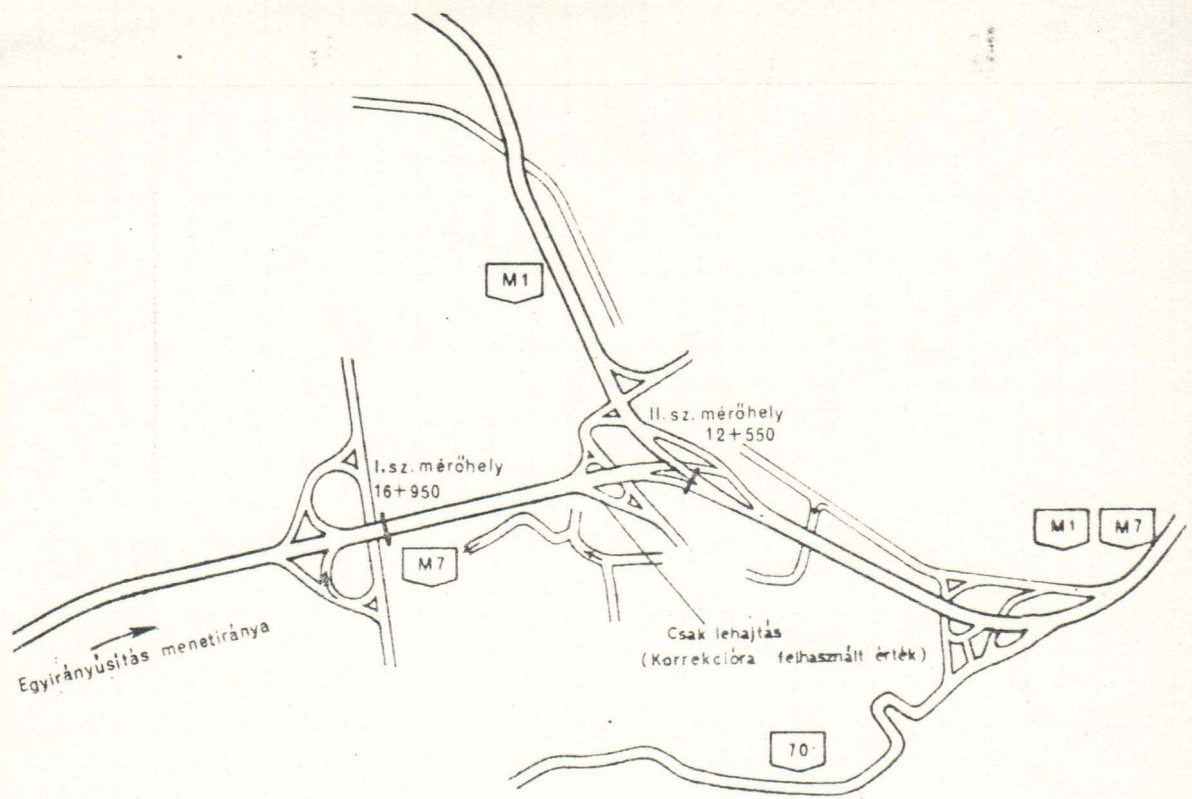
görbe valószínűségi elhelyezkedését. Nyilvánvaló, hogy x_2 görbe helyzetét csak az ordinátával párhuzamosan változtathatjuk, ez felel meg ugyanis a jármű-sorszám korrekciójának. Az eltolás mértékét viszont a két mérési helyen egymásnak megfeleltethető forgalomintázások azonosítása alapján tudjuk megbecsülni. Ilyen jellegzetes töréspontokat jelöltünk meg a 2/a. ábrán (a), (b) és (c) jellel. Néhány pont azonosítása után a szükséges eltolás értéke megállapítható. A 2/b. ábrán ilyen módon állítottuk elő az x_2' görbét. Megjegyezzük, hogy az eltolási eljárás matematikai statisztikai apparátus igénybevételével gépesíthető [1].

4./ Gyakorlati mérések.

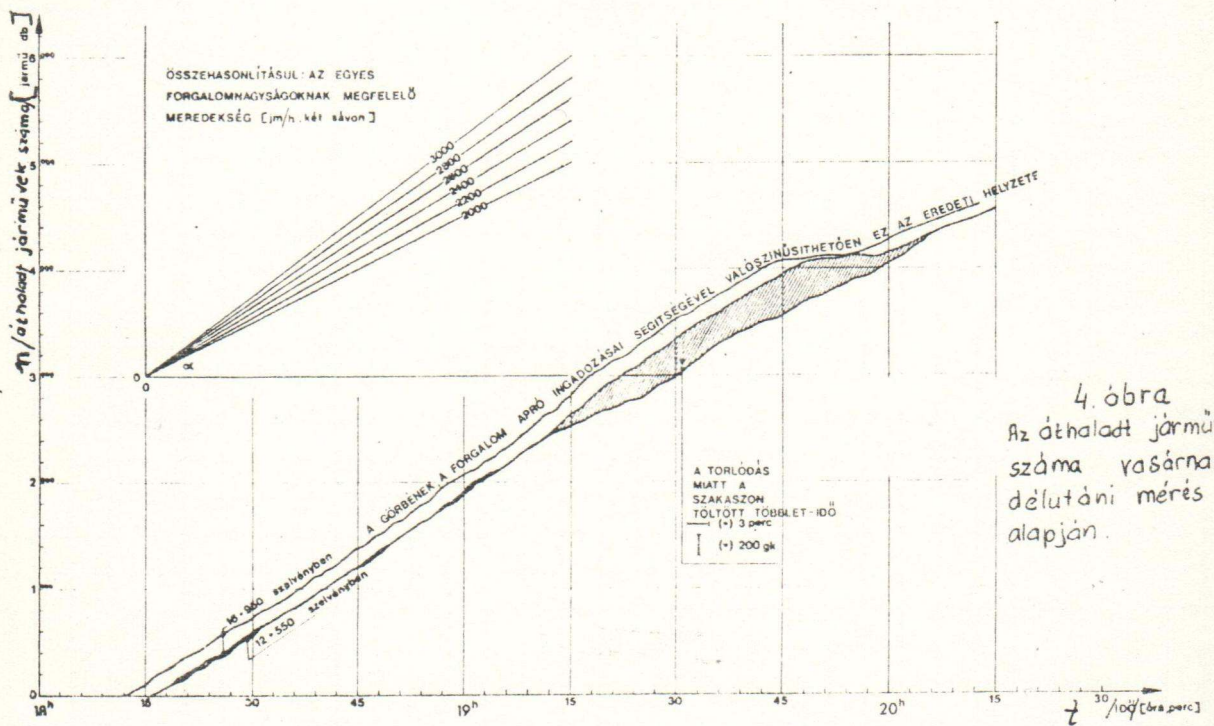
A fenti elveken alapuló méréseket az M 7 autópálya Erd-i csomópontja és az M 1 uttal való Törökbálint-i csatlakozása között hajtottuk végre /3. ábra I. és II. mérőhely/. A mérési keresztmetszetek között egyetlen kisforgalmu lehajtási lehetőség van, e lehajtóág forgalmát is számoltuk és /korrekcióhoz/ fel is használtuk.

A forgalmat mindegyik keresztmetszetben percenként jegyeztük fel. A 4. ábrán a két keresztmetszetben áthaladt járműszám összeggörbéi láthatók, már a 3. pontban ismertetett azonosítási eljárás után. A két görbe fedésbe hozásával azokra az időszakokra irányítható a figyelem, amelyekben a szakaszon töltött idő növekedése rohamos volt.

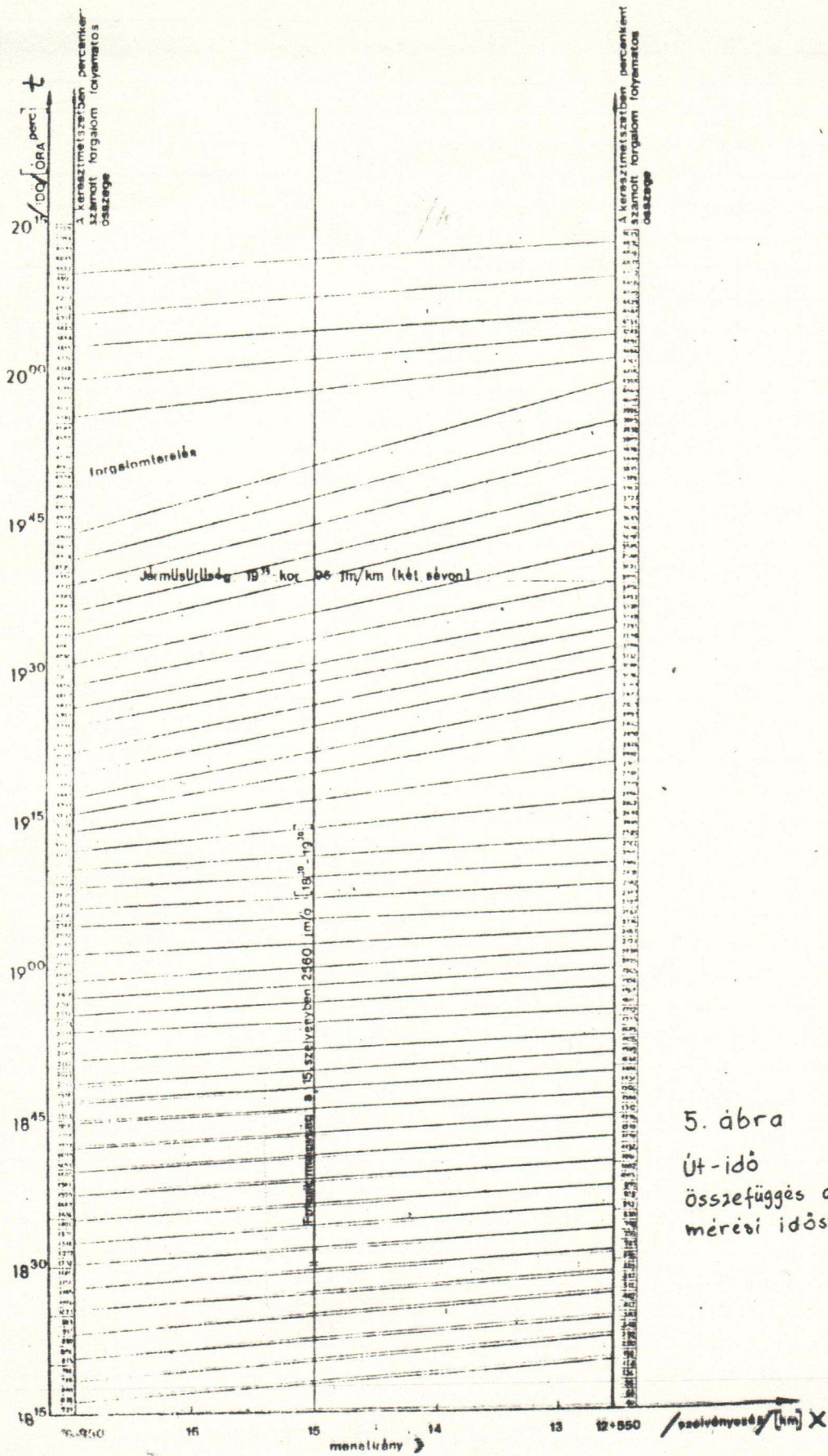
Ugyanezt a forgalmi helyzetet más ábrázolásban mutatja be az 5. ábra. Itt az abszcisszan az út szelvényezése, az ordinátán az eltelt idő olvasható le. Az ordinata mentén ezen kívül fel-tüntettük, hogy adott időpontig hány jármű haladt át a keresztmetszeten egy felvett kezdőidőpont óta. /Ez a számozlop tehát a 4. ábrán függőváltozóként szerepelt értékeket tartalmazza./ Mivel a két keresztmetszet járműszlopait korábban már azonosítottuk, azaz tudjuk, hogy egy jármű amely az x_1 keresztmetszetben n_1 sorszámot kapott, az x_2 keresztmetszetben n_2 sorszámnak felel meg; össze tudjuk kötni a megfelelő sorszámokat,



3. ábra. A mérés helyszíne



4. ábra
Az áthaladt járművek száma vasárnap délutáni mérés alapján.



5. ábra
 Út-ido
 összefuggés a
 mérési idoszakban.

és ezzel elő tudjuk állítani egy-egy jármű ut-idő diagrammját egyenes vonal formájában. Az 5. ábrán minden századik járműhöz rajzoltuk meg ezeket az összekötő egyeneseket.

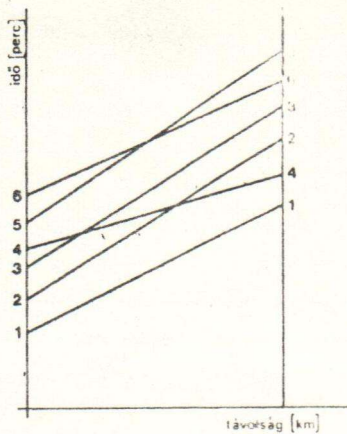
A valóságtól - ha elfogadjuk is, hogy a szakaszon belül a járművek nem változtatták sebességüket - ezek az egyenesek eltérnek: nem egy-egy jármű utját követik. A 6. ábrán megmutatjuk, hogy az előzések elhanyagolása milyen változtatást okoz a következtetéseinkben. A 6/a. ábrán hat jármű ut-idő diagrammját látjuk, a 6/b. ábrán pedig azt a helyzetet, amikor az észlelési sorrend szerinti számokat összekötve "helyettesítő járműveket" alkotunk. Igazolható [2], hogy a változtatás nincs hatással a hat jármű együtésére vonatkoztatott forgalomnagyság és sűrűségértékekre, illetve a szakaszon töltött idő összegére. Így az ut-idő vonalak ilyen felvétele tökéletesen megfelelő ha csupán átlagos sűrűségi, forgalmi és időveszteség értékeket akarunk meghatározni. Eppen ez a helyzet autópálya forgalomszabályozása esetén, hiszen ilyenkor nem egyes járművek, hanem járműoszlopok, forgalmi hullámok megfigyelése, értékelése alapján kell beavatkozási döntést hozni.

A 7. ábrán ismét ut-idő összefüggést mutatunk be, egy másik alkalommal végrehajtott felmérés alapján. Minden századik jármű görbéje - amely, mint láttuk, valójában "helyettesítő" jármű, és egy kis környezet átlagos forgalmi viszonyait képviseli - lehetőséget adott a forgalomnagyság, a sűrűség és az átlagsebesség /az ut-idő görbe meredeksége/ grafikus megállapítására, valamint e jellemzők összefüggésének /u.n. alapdiagramm/ ábrázolására [2].

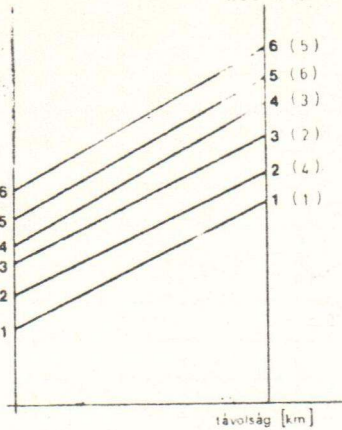
5./ Feldolgozás az áramlásjellemzők kapcsolata alapján.

A felvett adatokból azonban gépies számítással is előállíthatók az áramlást jellemző adatok.

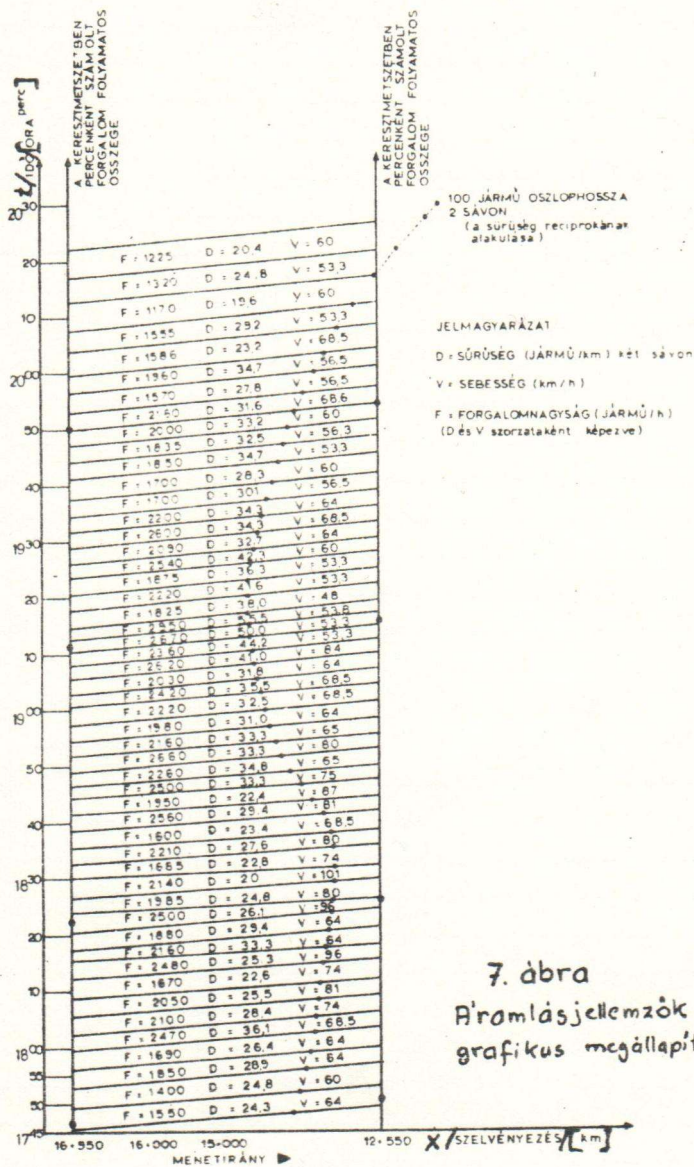
A jobb áttekintéshez a 8. ábrán az idő, a távolság és az áthaladt járműszám közötti kapcsolatot háromdimenziós koordináta-rendszerben mutatjuk be. Az $n(t, x)$ összefüggés ugyanis valójában kétváltozós függvényfelületként írható le az $n - t - x$



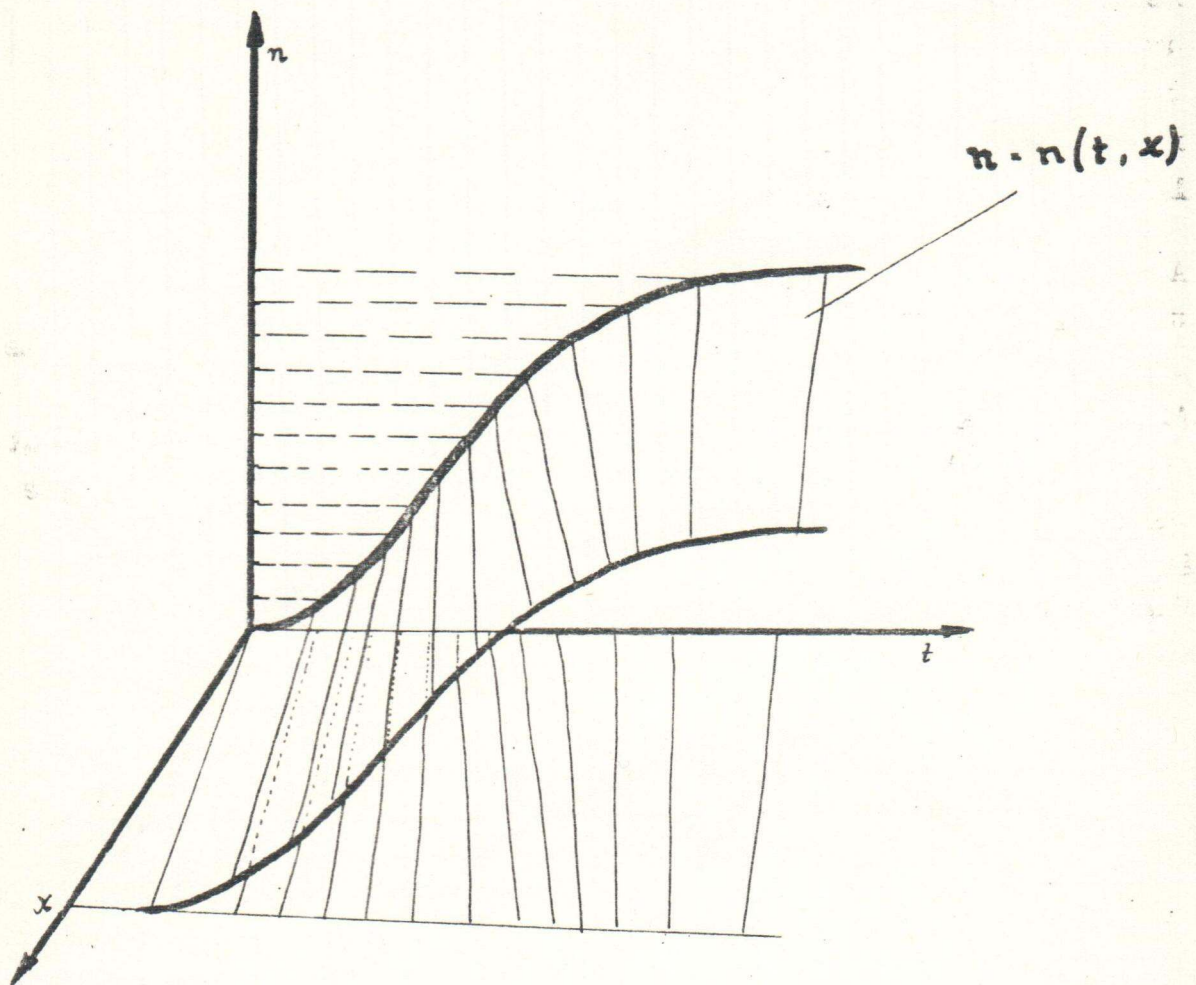
6/a. ábra. A tényleges út-idő ábra



6/b. ábra. A figyelembevett út-idő diagram



7. ábra
 Áramlásjellemzők
 grafikus megállapítása



8. ábra. Térbeli-időbeli ábrázolás három dimenzióban

	n	t	x		
$n(t, x)$	—	$\frac{\partial n}{\partial t}$	$\frac{\partial n}{\partial x}$	N	D
$t(n, x)$	$\frac{\partial t}{\partial n}$	—	$\frac{\partial t}{\partial x}$	$K_{idő}$	$T_{\Delta x}$
$x(n, t)$	$\frac{\partial x}{\partial n}$	$\frac{\partial x}{\partial t}$	—	$K_{táv}$	V

I. táblázat

koordinátarendszerben. A felületen minden századik "jármű" ut-idő vonalát a $\underline{t} - \underline{x}$ sikkal párhuzamos síkok és a vizsgált felület metszészvonalai adják ki. /A 7. ábrán előbb látott ut-idő összefüggés valójában nem más, mint e metszészvonalak vetülete a $\underline{t} - \underline{x}$ síkon./ Ilyenkor tulajdonképpen \underline{x} és \underline{n} a két független változó és a $\underline{t}(\underline{x}, \underline{n})$ függvényt vizsgáljuk. /Szemléletes lesz ez ha az ábrát 90° -al balra elfordítjuk./

A 9. ábrán összefoglalva bemutatjuk az egy-egy változó rögzítésével a felületen megjelenő görbéknek a párhuzamos koordinátasíkokon megjelenő vetületeit.

Az $\underline{n} - \underline{t}$ síkon megjelenő vetülettel találkoztunk már az 1. ábrán. Hozzátehetjük azonban a korábban elmondottakhoz, hogy a sűrűség és a szakaszon töltött idő értékei - amelyet korábban grafikusán, metszékekből képeztünk - valójában a kétváltozós függvény parciális deriváltjai:

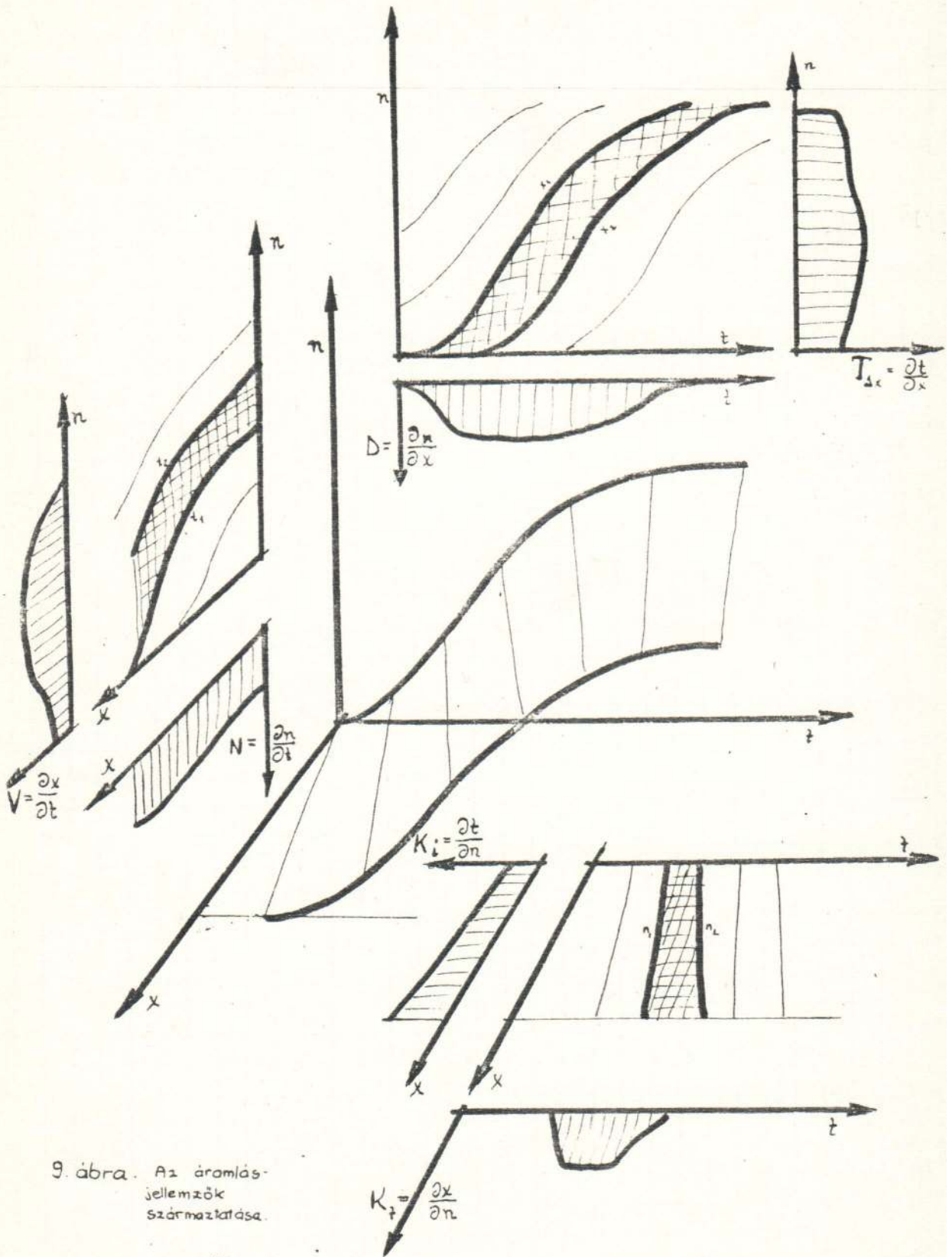
$$D(t_0) = \frac{\partial n}{\partial x}(t_0) = \frac{\partial n(t_0, x)}{\partial x} ; \quad \text{illetve}$$

$$T(n_0) = \frac{\partial t}{\partial x}(n_0) = \frac{\partial t(x, n)}{\partial x}$$

Ugyanigy képezhető - és a másik két koordinátasíkon szemléltethető - további négy elsőrendű parciális derivált, melyek mindegyikének ismert fizikai jelentése van: a 9. ábrán rendre $N(x_0)$ forgalomnagyság egy adott keresztmetszetben; $V(n_0)$ egy jármű sebessége; $K_i(x_0)$ követési idők egy adott keresztmetszetben, illetve $K_t(t_0)$ követési távolságok egy adott időpontban.

E származtatás lehetővé teszi az ismert fogalmak áttekintése mellett a közöttük fennálló összefüggések közül mindazok vizsgálatának kiszűrését, amelyek nem fizikai, hanem matematikai azonosság-tartalmat hordoznak.

A felsorolt hat fogalom ugyanis egyetlen kétváltozós függvényhez tartozik, illetve páronként ennek más-más függő változó



9. ábra. Az áramlás-jellemzők származtatása.

kiemelésével előállított származéka. /I. táblázat/ Kettő ismeretében a másik négy előállítható, de már kettő sem független teljesen, hiszen megváltozásuk esetén teljesíteniük kell a parciális vegyes második deriváltak azonosságára vonatkozó törvényt. Például az első sor esetében:

$$\frac{\partial N}{\partial x} = \frac{\partial^2 n}{\partial t \partial x} = \frac{\partial^2 n}{\partial x \partial t} = \frac{\partial D}{\partial t}$$

/Ez a feltétel általában kompatibilitási feltételként közismert./

6./ Konkluzió.

Természetesen az ábrázolási mód nem mutat rá új, eddig ismeretlen összefüggésekre. Értelmét abban látjuk, hogy rávilágít, az áramlási jellemzők hogyan állíthatók elő gépiesen és rendszeresen egymásból. Célszerű tehát, ha a mérendő jellemzőket redukáljuk azokra, amelyek mérése a legkisebb munkával jár és lehetőség szerint gépesíthető.

Az egyszerű forgalomszámlálás segítségével egyelőre autópálya csomópontoktól mentes szakaszon sikerült globális /járműszlopokat jellemző/ áramlásjellemzőket előállítani.

Megítélésünk szerint az autópályaforgalom szabályozásához, az operatív intézkedések, döntések meghozatalához, változtatható jelzéseképű táblak on-line működtetéséhez ezek az információk elegendők. A bevezetőben említett előzetes feladatok, vagyis a forgalmi folyam elemzése, a beavatkozás részletes hatásvizsgálata szükségessé tehet elemzési célokra részletesebb esetenkénti adatfelvételeket. Állandó megfigyelésre azonban az autópálya csomópontjaival tagolt szakaszain két-két forgalomszámláló berendezés beépítését elegendőnek ítéljük. Az így rögzített forgalmi adatok egyrészt rögtön lehetővé teszik az autópályaforgalom tapasztalati alapon való szabályozását, emellett maguk is elemezhető alapadatokat adnak, egy elméletileg is alátámasztható, optimális vezérlés kialakításához.

7./ Hivatkozások.

- [1] Wright, C.C. A second method of estimating traffic speeds from flows observed at the ends of a road link. Universities Transport Study Group Fifth Annual Conference, University of Manchester, Institute of Science and Technology, 1974. január.
- [2] Fleischer, T. Módszer sűrű közúti járműfolyam mozgásjellemzőinek elemzéséhez. Közlekedéstudományi Szemle, 1974. augusztus.

RÉSZLETES PROGRAM

I. szekció: **FORGALMI KÉRDÉSEK**

V. emelet 541. Kezdetre 10 óra

Társelnökök: DR BÉNYEI ANDRÁS (BME)
DR KAJÁN BÉLA (KÖTUKI)

Titkár: KOREN CSABA (KÖTUKI)

Budapesti utbaigazító táblarendszer kialakítása

Előadó: GÁL MÁRIA (KÖTUKI)

Autópályák forgalomszabályozásában felhasználható egyszerűsített forgalomfigye-
lési módszer

Előadó: FLEISCHER TAMÁS (KÖTUKI)

Balesetek nyilvántartási módszerei és az adatok felhasználása

Előadó: HEINRICH PÉTER (Székesfehérvári KIG)

1

OKLEVÉL

Fleischer Tamás

részére

*aki a Közlekedéstudományi Egyesület Építési Tagozata által
tartott*

fiatal előadók találkozóján

1. díjban részesült

Budapest, 1976. február 19.

Bankné Mónus Tünde
(BANKNÉ, MÓNUS TÜNDE)
az ISZB titkára

Vajda Zoltán
(DR. VAJDA ZOLTÁN)
a KTE főtitkára

**KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET
ÉPÍTÉSI TAGOZAT
IFJÚSÁGI SZERVEZŐ BIZOTTSÁG**

FIATAL ELŐADÓK TALÁLKOZÓJA



**BUDAPEST
1976**