

## Bevezetés

A vasúti szemaforjelzőre hasonlító jelző volt a világ első közúti jelzőlámpája Londonban 1868-ban, amit J. P. Knight vasúti mérnök tervezett. A mai jelzőlámpákhoz hasonló, első elektromos fényjelzőket 1912-ben telepítették az USA-ban. Az eltelt 100 év folyamán a közúti közlekedés óriási iramban növekedett az egész világon. Ma már a világ nagyvárosaiban több ezer közúti jelzőlámpa irányítja nap mint nap a közutakon hömpölygő járműforgalmat, gépjárművek millióit. A városi forgalomirányító rendszerek mellett a városokat összekötő országutak és autópályák forgalma is olyan méreteket ölt, hogy sok helyen önálló autópályaforgalom-irányító rendszert építenek ki.

A közlekedéstudomány számára az egyik legnagyobb kihívás az egyre zsúfoltabb környezetünkben létesített közlekedési rendszerek tervezése és működtetése. A növekvő igények kiszolgálása a legtöbb esetben már nem lehetséges a kapacitások további bővítésével, ehelyett másik megoldásként a meglévő hálózat jobb kihasználása adódik. Ennek során felértékelődik a közlekedési rendszerek hatékonyabb irányításának a megvalósítása. A közlekedési folyamatok alakítására számos lehetőséget kínálnak a közlekedéspolitikai eszközei, valamint a közlekedésgazdasági szabályzók is. Ez a könyv azonban a közúti forgalom irányításának csak műszaki vonatkozású kérdéseivel foglalkozik. A könyv felépítése három fő részre osztható. Az első részben a közúti járműforgalom leírását és modellezését tárgyaljuk, a második fejezetben a közúti járműforgalom paramétereinek és változóinak a mérését és azok becslését mutatjuk be. Végül a harmadik fejezetben a forgalomirányítás módszereinek és megvalósított rendszereinek bemutatására kerül sor.

A könyvben feldolgozott témák a BME közlekedésmérnöki oktatásában a törzsanyag részei, de hangsúlyos szerepet kapnak a BME járműmérnök és logisztikai mérnök képzésében is mind BSc, MSc, valamint PhD szinten.

## **Történeti áttekintés**

A múlt században kialakuló közlekedéstudomány az utakon jelentkező forgalomirányítási problémákra kezdetben egyszerű, gyakorlatias módszerekkel válaszolt. A tudományterület kimunkálásnak első jelentősebb úttörője az amerikai Bruce D. Greenshields volt, aki többek között a sebesség, a járműsűrűség és a forgalomnagyság közötti kapcsolatot írta le 1935-ben [55], amely összefüggés a mai napi alkalmazott a közlekedéstudományban.

Az 1950-es években az infrastruktúra, a kereskedelem, és az ipar fejlődése révén a közúti közlekedés problémáinak megoldása mindinkább összetett feladattá vált és komolyabb ismereteket igényelt. Ebben a mozgalmas időszakban fektették le az elméleti megközelítések alapjait, definiálták a közúti jelenségeket és több, korábban becsült számítást pontosítottak. A kor egyik legjelentősebben kutatója John G. Wardrop volt, aki lendületet adott egy újonnan fejlődő tudományterületnek a „forgalomáramlási elméletnek” (angolul: traffic flow theory) [150]. Ma ezeket a módszereket a forgalomtechnika révén ismerjük, amely már matematikai és statisztikai eszközökkel írja le a forgalmi áramlatokat. Wardrop több megközelítést mutatott be és két alapvetően dolgozott ki, a munkássága két korábbi jelentősebb eredményhez is szorosan kapcsolódott: a knighti bizonytalansági összefüggéshez (Frank H. Knight, 1924 [72]) és a játékelmélethez (John Nash, 1950 [100]). A hálózatok egyensúlyát leíró első matematikai modell is ebben az időben keletkezett Martin Beckmann, Charles B. McGuire és Christopher Winsten szerzőktől 1956-ban [10].

A mikroszkopikus szemlélet megalapozását jelentette 1950-ben Reuschel [124], majd 1953-ban Pipes [119] publikációja, akik a járművek időbeli, egymást követő mozgását leíró modellt fejlesztettek ki. Ez a járműkövetési modell a mai napig meghatározó jelentőségű alapösszefüggéseket tartalmaz. Az általános járműkövetési modellek megalkotása R. E. Chandler és munkatársainak [21], valamint D. C. Gazis és munkatársainak [48] nevéhez fűződik (1950-es évek vége). Ugyanebben az évtizedben készült el a makroszkopikus szemléletű, a folyadékáramlás analógiájára épített, úgynevezett LWR-modell, amelyet Michael J. Lighthill és Gerald B. Whitham [88], majd velük

közel egy időben, de tőlük függetlenül P. J. Richards [125] alkotott meg. Az LWR-modell mérföldkőnek számított a forgalmi folyamatok leírásában.

A közlekedő járművek alaposabb megfigyelésének következtében folyamatosan finomodtak a modellek, egyre több feltevés és módosító javaslat jelent meg. A különböző modellek jellemző tulajdonsága, hogy bizonyos forgalmi helyzeteket nagyon valósághűen követnek, más szituációkban azonban nem alkalmazhatók. A forgalom sebessége és sűrűsége közötti összefüggés meghatározása egy másik komoly mérföldkő volt a közlekedéstudományban. Ezt a kapcsolatot Greenshields lineáris megközelítése után Harold Greenberg 1959-ben logaritmikus összefüggéssel [54] váltotta fel, majd ezt G. F. Newell 1961-ben exponenciális összefüggés felhasználásával [101] írta le. További részletes megfigyelések hozták előtérbe a járművezetők és reakcióidejük hatásának figyelembe vételét. A reakcióidő létezésére és hatására G. F. Newell 1965-ben felállított egy hipotézist [102], amelyet T. W. Forbes megfigyelései [44] is alátámasztottak. A jelzőlámpás keresztezések jelzéseinek kiszámítását Webster alapozta meg 1958-ban [153].

A többi tudományterülethez hasonlóan az 1960-as években a közlekedéstudomány is újabb lendületet kapott az első számítógépek megjelenésével. A forgalomirányításhoz kapcsolódóan számos elméletet és gyakorlati módszert dolgoztak ki, és ekkor fektették le a csomóponti jelzőlámpa vezérlés alapjait is. Egy évtizeddel később a folyadékáramlás analógiájára épített LWR-modellt Harold J. Payne (1971) fejlesztette tovább [117], megközelítésében további tényezőket vezetett be az áramlási egyenletbe. Alapvető megfigyelése volt, hogy a vizsgált szakaszok átlagsebessége nem csak a járműsűrűségtől, hanem a szomszédos szegmensek állapotától és az átlagsebesség dinamikájától is függ. Az általa megalkotott másodrendű modell a mai napig az egyik legelterjedtebb megközelítés.

Az intenzívebb 1950-es és 1960-as évek után a tudományterület fejlődése látszólag lelassult, ebben a periódusban azonban jelentősen fejlődtek más tudományágak, mint a rendszer- és irányításelmélet, amely egyik kiemelkedő alakja a magyar származású Kalman Rudolf Emil [70]. Az állapottér-elmélet alapú megközelítés csak a későbbi évtizedekben kezdett hatást gyakorolni a közlekedéstudományra. A közúti folyamatok állapotbecslésének alapfogalata már 1973-ban megfogalmazódott N. E. Nahi és A. N. Trivedi munkájában [99]. Az elgondolás lényege, hogy a vizsgált közlekedési rendszert egy általános dinamikai rendszernek feltételezi, amelynek bemenetei, kimenetei és belső állapotai vannak. Az állapottér-elmélet szerinti megközelítésben

12 *Bevezetés*

a közlekedési folyamatok paramétereit és változóit állapotbecslési eljárások segítségével lehet meghatározni. Ez a felismerés vezetett oda, hogy a célforgalmi mátrix becslésére is felhasználják az állapotbecslőt. Az első kísérletekben egy egyszerű kereszteződésben vizsgálták a forgalmat, ami ott a fordulási rátákkal egyezett meg. Erről Michael Cremer és Hartmut Keller [26, 27], valamint N. L. Nihan és G. A. Davis [103] publikáltak.

A tudományterület fejlődésében sokat jelentett, hogy az 1970-es évektől – a számítástechnika gyors fejlődése következtében – már komoly számítási és irányítási feladatok váltak megoldhatóvá. A digitális technika megjelenése és térhódítása következtében új elméletek jelentek meg a járműforgalom leírására. A celluláris automata (Cellular Automata) alapú forgalommodellézést 1992-ben Nagel és Schreckenberg mutatta be [98]. Megint egy másik megközelítés az 1990-es évekből a cella átadási modell (Cell Transmission Model) [30], amely Carlos F. Daganzo nevéhez kötődik.

A közelmúltban és jelenleg a közlekedési kutatások és alkalmazások az intelligens közlekedési rendszerek (Intelligent Transport Systems: ITS) irányában bővülnek. A tudományterület meglehetősen változatos szempontjai kiterjednek a szociológiára, pszichológiára, környezet- és gazdaságtudományra is. Az ITS-rendszerekben megjelennek az intelligens közlekedési infrastruktúrák is, amelyek az intelligens funkciókkal felruházott járművekkel közösen egy új, rendkívül bonyolult hálózatot hoznak létre. A kommunikációs eszközök és rendszerek folyamatos fejlődésével pedig újabb és újabb lehetőségek nyílnak meg a közlekedési igények felmérésében, valamint a forgalmi folyamatok valós idejű megfigyelésében, irányításában. Egy fontos irány a járművek közötti (V2V: Vehicle To Vehicle), ill. a jármű és az infrastruktúra közötti (V2I: Vehicle To Infrastructure) drót nélküli kommunikációs technológiák fejlesztése, szabványosítása. Emellett a mobiltelefon alapú technológiák is egyre egyre nagyobb szerephez jutnak a közlekedés területén (pl. intelligens, forgalomfüggő útvonalajánlás). Ezen rendszerek irányítása azonban nemcsak összetett műszaki feladat, de használatuk a társadalom számára is új kihívásokat jelent. Napjaink egy másik érdekes kutatási iránya a közlekedés kiszámíthatóságának vizsgálata. Barabási Albert-László – többek között – a mobiltelefonok mozgásának a megfigyelése alapján az emberek jövőbeli helyváltoztatásának becslhetőségét vizsgálja [8]. Az ilyen és hasonló kutatások is mind hozzájárulnak a közlekedési folyamatok alaposabb megértéséhez és tervezhetőségéhez.