



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar**

**Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék**

**Optimális menetirányítás: stratégiák és implementál-  
hatóság vizsgálata a FUTÁR projektben**

.....  
Radics Miklós  
MWOVYQ

**2013**

# Tartalomjegyzék

1	Bevezetés .....	3
2	A dolgozat felépítése, célja .....	4
3	Forgalomirányító központok működése .....	5
4	FUTÁR projekt ismertetése .....	6
5	Busztorlódási jelenség magyarázata .....	11
6	Alapvető forgalomirányítási stratégiák.....	14
6.1	Hagyományos forgalomirányítás .....	15
6.1.1	Az operatív forgalomirányítás eszközei és módszerei.....	17
6.2	Követési időköz alapú irányítási stratégia.....	23
6.3	Önmagát vezérlő, dinamikus irányítási stratégia .....	24
7	Saját megközelítés alapjainak lefektetése, implementálhatóság vizsgálata.....	29
7.1	Korlátozó és alkalmazási feltételek meghatározása .....	29
7.2	Vizsgálandó viszonylat kiválasztása .....	34
7.3	Vizsgálat szempontrendszerének kialakítása .....	35
7.4	Későbbi kutatómunka ismertetése.....	35
8	Összefoglalás .....	36
9	Irodalomjegyzék .....	37
10	Mellékletek .....	38
10.1	1. melléklet: A választott viszonylat útvonala.....	38

# 1 Bevezetés

A FUTÁR<sup>1</sup> projekttel 2013 áprilisában kerültem kapcsolatba a Synergion Rendszerintegrátor Kft. alkalmazottjaként. A munkám alapvetően a CTI (Computer Telephony Integration) hangkommunikációs alrendszerrel kapcsolatos. Ez az alrendszer hivatott a járművek és a diszpécserek közötti hangkapcsolatot biztosítani. A rendszer alapvető funkciói felhasználói oldalról:

- jármű egyedi hívása
- járművek csoportos hívása (előre definiált statikus csoportok illetve dinamikus csoportok hívása)
- a rádiós rendszer telítettsége esetén GSM kapcsolat felépítése
- járműről érkező vészjelzés esetén behallgatás funkció biztosítása
- hangforgalom archiválása

A munkám az alábbiakból áll:

- fent említett alrendszerrel kapcsolatos hibabejelentések kezelése, kisebb hibajavítások elvégzése
- diszpécser munkájának segítése
- teszteken való részvétel, a munka segítése
- járművekről vezetett különböző adatbázisok kisebb-nagyobb karbantartási feladatai
- oktatásokon való részvétel
- forgalomirányítás folyamatának megismerése

Munkavégzés helye: BKK<sup>2</sup> Szabó Ervin téri központja, 6. emeleti Diszpécserterem.

A munkám során a FUTÁR rendszerrel való folyamatos ismerkedés kellő alapot nyújtott egy esetleges szakdolgozat előkészítésére, a témaválasztás megkönnyítésére. A továbbiakban ez kerül részletezésre.

---

<sup>1</sup> Forgalomirányítási és Utastájékoztatási Rendszer

<sup>2</sup> Budapesti Közlekedési Központ

## 2 A dolgozat felépítése, célja

Jelen dolgozat célja olyan vonali irányítás tervezése, valamint a FUTÁR projektbe történő implementálhatóságának vizsgálata, ahol a követési időközök az aktuális forgalmi viszonyoknak megfelelően, dinamikusan változnak az előre definiált határokon belül.

Elképzeléseim szerint egy olyan viszonylaton, ahol a járművek sűrűn közlekednek (kevesebb, mint 10-15 perc), ott az egyenletes járműérkezés a cél, nem pedig egy előre definiált menetrend tartása. A járműre váró utasok többsége - egy gyakran közlekedő viszonylat esetében - nem ismerik a menetrendet, véletlenszerűen indulnak a megállóba. Ebben az esetben a várható járműérkezésről tájékoztatást lehet nyújtani a már szokásos papír alapú megállóhelyi menetrendi táblákkal illetve intelligens közterületi utastájékoztató kijelzőkkel. Egy, a fentiekben vázolt rendszer képes lenne az egyenletes követési időközök biztosítására bármilyen diszpécseri beavatkozás nélkül, automatizált módon. Az implementálhatóság vizsgálatához körül kell járni az alábbi kérdéseket:

- korlátozó és alkalmazási feltételek meghatározása
- a rendszert kiszolgáló adatok meghatározása
- járművezetők munkaidejére vonatkozó korlátozások
- vonalközi kiegyenlítés alkalmazásának lehetőségei
- megfelelő színvonalú utastájékoztató biztosításának lehetőségei
- utazások tervezhetőségének kérdésköre
- átszállási kapcsolatok biztosításának lehetőségei
- fonódó viszonylatok egymáshoz képesti szinkronizálása

A dolgozat felépítése az alábbiak szerint alakul: a bevezetésben ismertetésre kerül a közösségi forgalomirányító központok működése, felépítése, alapvető célkitűzései, diszpécseri beavatkozási lehetőségei. Bemutatásra kerül a BKK FUTÁR projektje rendszerszinten, a működési mechanizmus leírásán keresztül. A továbbiakban ismertetésre kerül a buszok torlódásából adódó problémakör illetve a megoldásra irányuló törekvések, elméletek, elsősorban nemzetközi tanulmányokra alapozva. A későbbiekben pedig összehasonlításra kerülnek az előbb említett stratégiák, illetve egy saját megközelítés alapjait is lefektetem.

### 3 Forgalomirányító központok működése

A közösségi közlekedést igénybe vevő utasok és a szolgáltatást nyújtó szervezetek között létrejött speciális kapcsolat sajátos kötöttségekkel jár. A szolgáltatási díj megfizetésével az utas részéről elvárt az előre tervezhető, megfelelő körülmények között történő utazás, melynek egyik alapvető feltétele a menetrendszerűség, a kiszámítható járműérkezés. Hagyományosan az előre meghatározott statikus menetrendi adatokhoz igazodik az utas, ezt kell tartania a járműveknek. Ez az irányítási feladat akár egyszerűnek is tűnhet, azonban egy nagyváros - mint például Budapest – közösségi közlekedésének lebonyolítása igen összetett és bonyolult informatikai rendszert igénylő folyamat, melynek komplexitásából fakadóan magas szintű automatizálás szükséges.

Korunk egyik nagy problémája az egyéni közlekedők magas részaránya, a közösségi közlekedést igénybevevőkkel szemben. A városok élhetőbbé tétele, valamint az erőforrásaink felhasználásának optimalizálása érdekében elengedhetetlen a közösségi közlekedés fejlesztése, mind a járműparkot, mind az irányítási rendszert illetően. A forgalomirányítási rendszer fejlesztésével magasabb színvonalon biztosítható a járművek egyenletes közlekedése, míg az utastájékoztatási rendszer fejlesztése hozzájárul az utasok bizalmának növekedéséhez. Amennyiben az utasok megfelelő tájékoztatást kapnak az aktuális forgalmi szituációról, utazásaik tervezhetőbbé válnak, így nagyobb eséllyel választják a közösségi közlekedést. Ez magasabb szolgáltatási színvonalhoz, ennek megfelelően magasabb utasszámhoz vezet.

A közlekedési iparág azonban a többitől eltérően igen kényes helyzetben van amiatt, hogy kevés lehetőséggel bír beosztottjainak felügyeletére, azok munkavégzésének ellenőrzésére. A járművezetők hagyományosan a teljes munkaidejüket az utasok szállításával töltik, ritkán találkoznak feletteseikkel. Erre a problémára jelentenek megoldást az egyre terjedő technológiai újítások. A különböző helymeghatározó rendszerek és vezeték nélküli technológiák egyesítésével lehetővé válik a járművek valós idejű követése és felügyelete. Hangkapcsolat vagy üzenetváltás útján instrukciókkal láthatja el a menetirányító diszpécser a járművezetőt, illetve a jármű különböző állapotairól automatikus adatgyűjtés valósítható meg egy esetleges automatizált vonali irányítás kiszolgálásához. Mára a közösségi közlekedési szolgáltatók igyekeznek a modern technika vívmányai segítségével optimalizálni az irányítási folyamatot. Ezek az eszközök lehetnek a már

említett helymeghatározó rendszerek illetve vezeték nélküli technológiák vagy különböző szenzorok, pl. az utasszámláló-, fogyasztásmérő berendezések. [1]

A forgalomirányítás alapját hagyományos esetben tehát az előre definiált menetrend képezi. Az irányítási folyamat a menetrendszerűség vizsgálatából áll. Az utasok részéről elvárt kiszámíthatóság csak folyamatos forgalomfelügyelettel és a szükség szerinti beavatkozások megtételével lehetséges, melynek alapfeltétele egy jól működő forgalomirányító rendszer. A rendszerrel szemben támasztott legfőbb követelmények:

- végállomási indítás automatikus ellátása (járművek indítása, érkeztetése, utastájékoztatás);
- vonali forgalomirányítás és utastájékoztatás megvalósítása, tervezett átszállási kapcsolatok biztosítása;
- jármű és forgalomirányító központ közötti kapcsolattartás és megfelelő információáramlás biztosítása;
- a forgalomirányító központban az információk feldolgozása és irányítási feladatok ellátása;
- a forgalmi adatok gyűjtése és megfelelő kiértékelése, majd ennek érvényesítése a tervezésben és irányításban. [2]

A továbbiakban Budapest közösségi közlekedését reformáló FUTÁR projekt kerül röviden ismertetésre.

## **4 FUTÁR projekt ismertetése**

A FUTÁR (Forgalomirányítási és Utastájékoztatási Rendszer) projekt a BKK jelenleg futó nagyberuházása, mely a budapesti közösségi közlekedés átfogó fejlesztése érdekében valósul meg. A rendszer feladata a BKK forgalomirányítási és utastájékoztatási feladatainak magas szintű támogatása. A jelenleg működő, elavult és egymástól függetlenül működő AVM<sup>3</sup> és DIR<sup>4</sup> rendszereket egy új, integrált váltja fel. A FUTÁR alapjá-

---

<sup>3</sup> Automatic Vehicle Monitoring, jelentése automatikus vonali megfigyelő. A BKV 1994-ben üzembe helyezett döntés előkészítő informatikai rendszere.

<sup>4</sup> Diszpécseri Irányító Rendszer, a BKV 1998-ban üzembe helyezett forgalomirányító rendszere.

ul a műholdas járműkövetés szolgálat, ami valós idejű helymeghatározást, így állandó menetrendszerűség vizsgálatot tesz lehetővé.

A rendszer bevezetésének fővállalkozója a Synergon Integrátor Kft., míg a rendszer alapjait és legfőbb elemeit a világszerte széleskörű referenciával rendelkező, német IVU Traffic Technologies AG szállítja.

A projekt keretein belül minden felszíni járműbe korszerű, érintőképernyős fedélzeti berendezést szerelnek, mely a járművezető számára szükséges információkat jelenít meg. Új rádiós rendszer kerül kialakításra, így a szerelt járművek mindegyikével beszédkapcsolat létesíthető. A Szabó Ervin téri diszpécserteremben modern munkaállomások létesülnek, melyeken egy új forgalomirányítási szoftvercsomagot használhatnak a diszpécserek. Az utastájékoztató korszerűsítését a kiemelt megállóknál elhelyezett, a várható járműérkezést mutató kijelzők, illetve az új SMS- és WEB alapú utastájékoztató rendszerek hívatottak biztosítani. Azokban a csomópontokban, ahol indokolt a beavatkozás, ott a közösségi közlekedési járművek előnybiztosítása is megvalósul a zavartalan forgalom lebonyolódás érdekében.

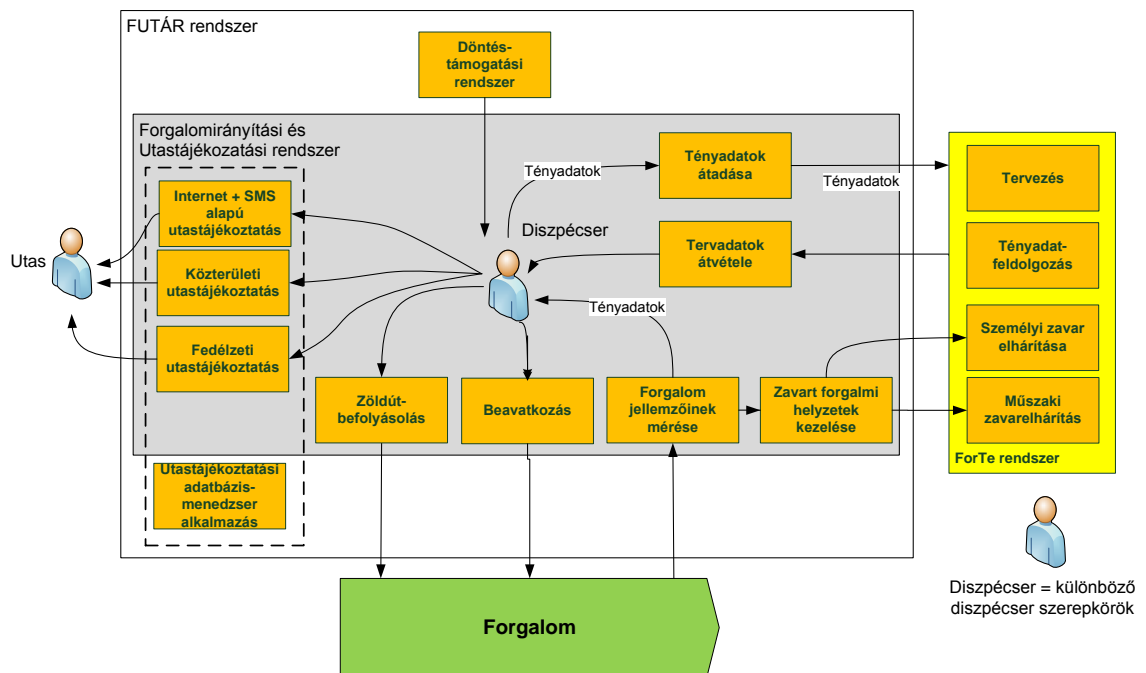
A rendszer bevezetése után nagymértékben emelheti a budapesti közösségi közlekedés szolgáltatási színvonalát, mely nagyobb utaselégedettséghez, végső soron magasabb utasszámhoz vezethet.

A projekt volumenét jellemző néhány szemléltető adat:

- az összköltségvetés kb. 6,7 milliárd forint
- fedélzeti egység beszerelésre kerül összesen: 1536 db autóbuszba  
612 db villamosba  
145 db trolibuszba
- járműfedélzeti utastájékoztató kijelzők kerülnek üzembe összesen 2295 db járművön
- közterületi utastájékoztató kijelzők kerülnek telepítésre összesen 263 megállóhelyen és csomópontban [3]

A teljes járműparkot lefedő FUTÁR feladata a jelenleg használt, azonban mára már elavult AVM és DIR rendszerek leváltása, a forgalomirányítás támogatása, az utastájékoztatók színvonalának emelése. Ennek érdekében egy teljesen új rendszer kerül bevezetésre, melybe néhány korábbi rendszerelem ugyan adaptálásra kerül.

A rendszer elvi modelljét az 1. ábra szemlélteti.



**1. ábra: A Futár rendszer elvi modellje**

(forrás: FUTÁR - Konceptcionális terv [4])

A rendszernek az alábbi főbb funkciókat látja el:

- **Tervadatok átvétele:**

A forgalomirányításra és az utastájékoztatóra vonatkozó tervadatokat a ForTe (Forgalmi Tevékenységek)<sup>5</sup> rendszerben állítják elő, ott tárolják, és tartják karban. Ez az adat a szabályozó kör alapját képezi.

<sup>5</sup> Forgalmi folyamatot kiszolgáló rendszer. A ForTe modul valamennyi alágazat utasszállítással kapcsolatos forgalmi tevékenységeit fogja össze egy integrált rendszerben. A modul a FUTÁR projekt keretein belül átalakításra kerül, korábbi főbb összetevői: forgalom előkészítés, forgalomfelvétel, menetrendkészítés, paraméterlap készítés, teljesítmény elszámolás, törzsadat karbantartás, üzemanyag elszámolás zavarkezelés. [5]



- **Forgalom jellemzőinek mérése:**

A diszpécser munkája során folyamatosan figyeli a forgalom alakulását, erre a műholdas járműkövető rendszer áll rendelkezésre. A rendszer automatikusan is figyeli a forgalom egyes jellemzőit és szükség esetén riasztást ad (pl. menetrend-től való eltérés vizsgálata, útvonalról való letérés esetén figyelmeztetés küldése a diszpécser felé stb.).
- **Zavarelhárítás:**

Ha a diszpécser a forgalom jellemzőinek figyelése során zavart érzékel, zavarnapló-tételt nyit, melyben a zavarral pontos körülményei kerülnek dokumentálásra. A rendszer képes automatikusan is zavarnapló-tétel nyitására.
- **Beavatkozás:**

A diszpécser a menetrendszerűség vizsgálata során összehasonlítja a tényadatokat a tervadatokkal, szükség szerint beavatkozik a forgalomba. Ehhez különböző eszközök állnak rendelkezésére, ezt a szakdolgozatomban kívánom tovább részletezni a folyamat sokszínűsége miatt.
- **Zöldút-befolyásolás:**

A rendszer képes a közösségi közlekedés járművei számára csomóponti előnybiztosítást nyújtani. A projekt keretein belül bevont 30 db jelzőlámpás csomópontnál a késésben lévő járművek számára gyorsabb áthaladást biztosít, ezáltal is hozzájárulva a késés csökkentéséhez, a menetrend szerinti közlekedés mihamarabbi helyreállításához.
- **Döntéstámogatás:**

Annak érdekében, hogy a diszpécseri beavatkozás, gyors, megbízható és tervezhető legyen, a rendszer a beavatkozáshoz szükséges döntési javaslatokat ad. A tényadatok ismeretében a döntési javaslat lehet egy beavatkozás, vagy egy beavatkozás-sorozat.
- **Járműfedélzeti utastájékoztatás:**

A fedélzeten utazó utasnak folyamatos tájékoztatást kell kapni a járással kapcsolatos aktuális információkról. Ennek ki kell terjednie az adott útvonalra vonatkozó, valamint az átszállási információkra, illetve az esetleges zavarereeményekkel kapcsolatos információkra. Az utastájékoztatás lehet vizuális, illetve akusztikus.

Ezek előkészítése részben a ForTe, részben a külön az erre a célra kifejlesztett Utastájékoztatási adatbázis menedzser szoftver segítségével történik.

- **Közterületi utastájékoztatás:**

A megállóhelyeken, illetve végállomásokon biztosítani kell az utasok vizuális, illetve akusztikus tájékoztatását. Ezek az információk a megállóhellyel, illetve a kapcsolódó vonalakon haladó járatokkal kapcsolatos információkat tartalmazzák. Az adatelőkészítésre ebben az esetben is az Utastájékoztatási adatbázis menedzser szoftvert alkalmazza a rendszer.

- **Internetes, illetve SMS alapú utastájékoztatás:**

A rendszer lehetőséget nyújt arra, hogy az utasok interneten, illetve SMS-ben is tájékozódhassanak a forgalomról, az esetleges zavarereeményekről, illetve utazásszervezési funkciókat is biztosít az utasok számára.

- **Tényadatok átadása:**

Az elszámolás érdekében biztosítani kell a valós tényadatok átadását harmadik rendszernek, annak érdekében, hogy a különböző elszámolási funkciók működhessenek.

- **Utastájékoztatási adatbázis-menedzsment alkalmazás:**

Az utastájékoztatási adatok szerkesztésére és útvonalhoz kötésére szolgáló alkalmazás. A központi rendszertől független, de az utastájékoztatással közös adatbázist használ. [4]

Jelen dolgozat alapvető célkitűzése egy olyan rendszer kidolgozása, amely kiküszöböli a buszok torlódása okozta nemkívánatos hatásokat, egyenletes követési időközök biztosításával. A rendszer alapjainak lefektetése után kerülhet sorra a FUTÁR projektbe történő implementálhatóság vizsgálata. A következőkben a buszok torlódásának jelensége kerül ismertetésre.

## 5 Busztorlódási jelenség magyarázata

A városi közösségi közlekedés egyik jellemzője a nagy járatsűrűség a koncentráltan megjelenő, nagy volumenű igények miatt. A nyújtott szolgáltatás színvonala többek között akkor magas, ha a követési időközök közötti eltérés minimális. Azonban az egyenlő követési időközök fenntartása szinte lehetetlen a forgalmi áramlás valamint a fel- illetve leszálló utasok számának folyamatos változása miatt. Ezek az eltérések bizonyos buszoknál elkerülhetetlenül lassuláshoz, a menetrendhez képest késéshez vezetnek.

A buszok torlódása / ráfutása (angol nyelvű szakirodalmakban ún. *bus bunching effect*) már régóta ismert jelenség. *Newell és Potts 1964-es, Maintaining a bus schedule* [6] című tanulmánya első a témában, melyben kifejtik, hogy ha egy viszonylaton közlekedő buszflottát bármilyen irányítás nélkül hagyunk, azok nem tudnak menetrend szerint közlekedni. A magyarázat egyszerű. A késő busz kénytelen egyre több utast elszállítani, mivel a megnövekedett követési időköz (két egymást követő jármű megállóba való érkezése között eltelt idő) alatt többen érkeznek a megállóba, így a késése is egyre nagyobb lesz. A követő busz, aki menetrend szerint közlekedik, egyre kevesebb utast fog felvenni, a tervezettnél gyorsabban fog haladni, így a két busz közötti követési idő egyre kisebb lesz, ami torlódáshoz vezet. A folyamat teljesen hasonló, csak fordított, amennyiben az elülső busz sietni kezdene. [10]

A fent ismertetett jelenség az utasok átlagos várakozási idejének emelkedését, illetve az egyes várakozási idők közötti eltérés növekedését okozza. A hosszabb követési időköz alatt több utas érkezik a megállóba, mint menetrend szerinti közlekedés esetén. A megállóban tartózkodók hosszabb ideig várnak a következő járműre, illetve az egyének várakozási idejei közötti eltérés is egyre nagyobb lesz. Ez az utasok számára nyújtandó magas szolgáltatási színvonal miatt egyértelműen kerülendő. A buszok torlódása emellett kapacitás kihasználatlanságot is eredményez, mivel a követő busz kevesebb utast fog szállítani. Ez a szolgáltató számára többletköltséget okoz.

A menetrendszerűség, a menetrend szerint való közlekedés az egyik legfőbb elvárás az utasok részéről (*Paine, 1967* [7]; *Golob, 1972* [8]; *Wallin és Wright, 1974* [9]). Mivel a járművek vonali közlekedtetése alapvetően instabil, amint forgalmi zavar keletkezik a

hálózaton beindul az elkerülhetetlen folyamat, amely előbb-utóbb a buszok torlódásához vezet. [11]

A torlódás jelenségének kiküszöbölésére a közösségi közlekedés szolgáltatói rendszerint ún. kiegyenlítő időt terveznek a menetrendbe. A kiegyenlítő idő előzetes számításokra alapozott, a forgalom menetrendszerűsége gyakorolt hatásainak csillapítására alkalmazott többlet időtartam, amely a vonalon begyűjtött késések kiegyenlítésére szolgál. Előre definiált, ún. kontroll pontoknál – Budapesten jellemzően a végállomásokon – a késésben lévő járművek felzárkózhatnak a menetrendhez a kiegyenlítő idő segítségével. Ezek a pontok általában a viszonylat végpontjai, hosszabb viszonylat vagy a pontosság növelése érdekében vonalközben is kinevezhető. A kontroll pontok számának növelésével párhuzamosan csökken a járművek vonali sebessége, tehát a számuk mindenképpen optimalizálandó. Annak érdekében, hogy a járművek a lehető legkevesebb időt töltsék várakozással, célszerű minimális számú kontroll pontot kinevezni.

Szemléltetésképpen egy példa és némi további magyarázat következik, melynek forrása *Dr. Prileszky István, Városi tömegközlekedés* című elektronikus jegyzete. [12]

A közlekedés egyenletességének fenntartása elsődleges irányítási cél, mivel az egyenletesség fokozódásával a várakozási idők növekednek. Tegyük fel, hogy egy 5 perces járatsűrűségű vonal egy megállójához egyenletes utasérkezés mellett percnként egy utas érkezik. Ha az egyenletes, 5 perces közlekedés megvalósul, akkor az átlagos várakozási idő 2,5 perc/fő. Amennyiben az egyik autóbusz késve érkezik 3 perccel, a következő pedig időben, tehát 2 perc múlva, akkor az első jármű érkezésére a megállóban 8 fő gyűlik össze, várakozási idejük  $\frac{8 \cdot 8}{2} = 32$  perc. A következő busz két utasának várakozási ideje  $\frac{2 \cdot 2}{2} = 2$  perc. Az átlagos várakozási idő  $\frac{32+2}{10} = 3,4$  perc, ami 36 %-kal több, mint amennyi egyenletes forgalomnál volt. A megállóhelyi átlagos várakozási időt egyenletes utasérkezés estén az alábbi összefüggés alapján számolhatjuk:

$$T_{vá} = \frac{i}{2} + \frac{\sigma_i^2}{2 \cdot i}, \text{ ahol } i = \text{követési időköz} \quad (1)$$

$\sigma_i$  = követési időközök szórása

Közös vonalszakasz esetén, ahol több viszonylat járművei közlekednek, a közös követési időközt következőképpen számolhatjuk:

$$i_{\delta} = \frac{1}{\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} + \dots + \frac{1}{i_n}}, \text{ ahol } i_{\delta} = \text{közös követési időköz} \quad (2)$$

$i_1 \dots i_n = \text{az egyes vonalak követési időköze.}$

Az egyenetlenség fokozódása során kialakuló nagyobb követési időközök utasleamaradáshoz is vezethetnek (az utasok egy része nem fér fel a járműre, kénytelenek a megállóban maradni). Az egyenetlenség kialakulása különösen kedvezőtlen, mivel a követési időközök szórásának növekedése önmagát erősítő folyamat, amely a járművek torlódásához vezet. Mint ahogy már korábban ismertetésre került, a késve érkező jármű a megállóhelyen összegyűlt nagyobb utasszám miatt hosszabb időt kénytelen tölteni a megállóban, ami további késéshez vezet. Az utána következő jármű viszont a kevés utas miatt rövidebb megállóhelyi tartózkodási idővel közlekedhet, így egyre csökken a közöttük lévő távolság. A késések halmozódása a következőképpen írható le:

Ha az egy megállótávolságra eső késés  $\Delta T_m$ , akkor az első megállóhelyen a tartózkodási idő ( $T_t$ ) ugyanilyen arányban megnő, mivel az arányosan megnövekedett utasszám felhasználása annyival több időt igényel. Az együttes késés ekkor

$$\Delta T_m + \frac{T_m}{T_m} \cdot T_t = T_m \cdot (1 + \gamma) \quad (3)$$

ahol

$$\gamma = \frac{T_t}{T_m} \quad (4)$$

a következő megállónál ugyanez:

$$\Delta T_m \cdot (1 + \gamma) + \frac{\Delta T_m \cdot (1 + \gamma)}{T_m} \cdot T_t = T_m \cdot (1 + \gamma)^2 \quad (5)$$

Az n-edik megállónál a késés

$$\Delta T_m \cdot (1 + \gamma)^n \quad (6)$$

lesz.

Ugyanakkor a megállóhelyen várakozó utasszám is ugyanolyan arányban növekszik, és az  $n$ -ik megállóhelyen

$$P \cdot \Delta T_m \cdot (1 + \gamma)^n \quad (7)$$

utas fog várakozni, ahol  $P$  = a tervezett követési időköz alatt összegyűlő utasszám.

A forgalomirányítás feladat a halmozódó késések létrejöttének megakadályozása.

A torlódások elkerülésére hagyományosan három alapvető irányítási formát alkalmaznak a közlekedési vállalatok (*John J. Bartholdi és Donald D. Eisenstein, 2011 [13]*). Az első és egyben legegyszerűbb a járművek előre definiált menetrend szerinti közlekedése és a menetrendszerűség vizsgálata. A második olyan eljárás, amikor egy célként kitűzött követési időközt próbálnak tartani a járművek, ebben az esetben előre definiált menetrend nincs. Ennek érdekében a már említett kontroll pontokba kalkulált tartózkodási idők teszik egyenletessé a járművek megállóhelyi érkezését. A harmadik stratégia nem alapoz semmilyen előre definiált célértékre. A rendszer működésének alapvető mechanizmusa szerint a rendelkezésre álló járműszámnak, az aktuális forgalmi helyzetnek és utasigénynek megfelelő egyensúlyi követési időköz alakul ki a járművek között. A továbbiakban a fent felsorolt stratégiák ismertetése kerül sorra.

## 6 Alapvető forgalomirányítási stratégiák

A logikai sorrendet figyelembe véve arra a következtetésre jutottam, hogy alapvetően három lépésben mutatnám be az eddigi kutatómunkám. Elsőként a hagyományos forgalomirányítás működési mechanizmusát, alapvető beavatkozási lehetőségeit mutatom be. Második lépésként egy automatizált vonali irányítási rendszert ismertetek, ahol a járművek előre definiált cél-követési időközök szerint közlekednek a vonalon. A harmadik stratégia pedig elvet bármilyen előre definiált célértéket, csupán korlátozó feltételek alapján, egyensúlyi állapotban közlekedtetni a vonalon lévő járműveket.

Megjegyzendő, hogy az első alfejezetben ismertetésre kerülő stratégia alkalmas egy teljes hálózat irányítási feladatának ellátására, míg az utóbbiak elsősorban az alábbi korlátozások figyelembevételével alkalmazhatóak nagy hatékonysággal:

- olyan viszonylatok esetén, ahol a járművek kis követési időközzel közlekednek,
- nincsenek különösebben fontos átszállási kapcsolatok, amelyek mindenképpen előre tervezendők,
- illetve a járművek egyenletes követése automatizálás nélkül nehezen biztosítható.

Egy, az utóbbi elven működő vonali irányítás hálózati szintű implementálása további kutatómunkát igényel, ezen dolgozat elsődleges célkitűzése egy konkrét viszonylat vizsgálata. Több, egymással kapcsolatban álló viszonylat, kisebb részhálózatok vagy akár egy teljes városi hálózat irányíthatóságának vizsgálatára terveim szerint ezen dolgozat megfelelő alapot nyújthat.

## 6.1 Hagyományos forgalomirányítás

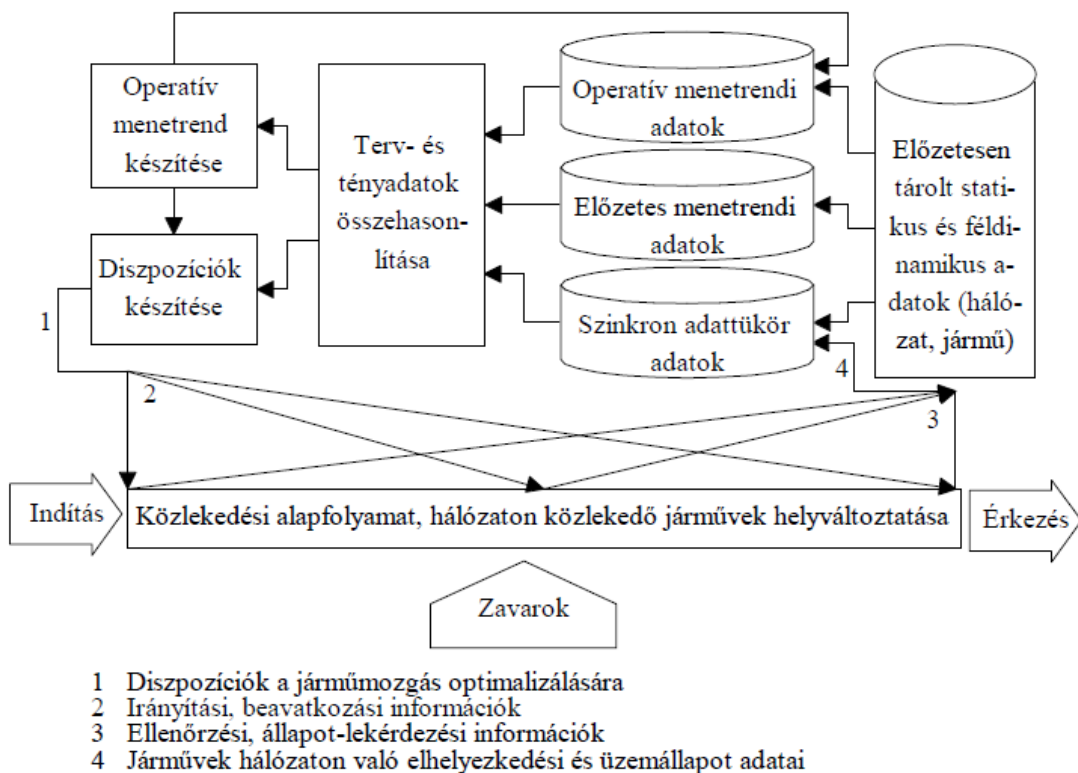
Közösségi közlekedés esetén, hagyományos értelemben a járművek menetrendszerinti közlekedtetése az elsődleges irányítási cél. A folyamat összetettsége miatt nem tud irányítás nélkül működni. A forgalomfelügyeleti és –irányítási feladatok ellátására általában a fejezetben ismertetésre kerülő módszereket alkalmazzák.

A folyamatok leírásakor nagyban alapoztam a *Közúti közlekedési informatika* című taneszéki jegyzetre [2], illetve *Dr. Prileszky István Városi tömegközlekedés* című elektronikus jegyzetére [12].

A forgalomirányítási folyamat részletezése előtt több alapvető fogalom ismertetése következik. Ezek közül néhány a dolgozat eddigi részeiben már felmerült, a pontosítás végett most ismét definiálásra kerülnek.

- **fordulóidő:** az az időtartam, amely egy-egy jármű – folyamatos közlekedtetése során – végállomásról történő elindulásától az onnan történő újbóli elindulásáig telik el. A fordulóidő a végállomási tartózkodási, technológiai és kiegyenlítő időket is tartalmazza.
- **kiegyenlítő idő:** a forgalom menetrendszerűsége gyakorolt hatásainak csillapítására alkalmazott többlet időtartam.
- **menetidő:** a járművel a menetrendben meghatározott végállomások közötti útszakasz megtételéhez szükséges idő.

- **technológiai idő:** az a minimális időszükséglet, ami az adott technológiai, forgalmi tevékenység elvégzéséhez szükséges. A menetrendek tartalmazzák a minimális technológiai idők egy részét (pl. a jármű átvételére szánt idő mértékét, a személyzet váltására adott időt), ezek egyes viszonylatokra meghatározott mértéke a paraméterlapban kerül meghatározásra.
- **követési időköz:** az az idő, amely a két jármű adott ponton történő (menetrendi vagy operatív) indulási vagy áthaladási ideje közt telik el.



**2. ábra: A közösségi közlekedési járművek irányítási köre**

(forrás: Közlekedési informatika tanszéki jegyzet [2])

A hagyományos értelemben vett közösségi közlekedési forgalomirányítás alapvetően tehát a menetrendszerűség vizsgálatán, menetrendtől való eltérés esetén operatív beavatkozáson alapul. Az irányítás szabályozási körét az 2. ábra mutatja be.

A szolgáltatási területen felmerülő igényekhez igazodva a szolgáltató elvégzi a hálózat- és menetrend tervezési feladatokat. Ez egy igen bonyolult, multikritériumos optimalizá-



lási feladat, melyre jelen dolgozat részletesen nem tér ki. A megjelölt források az érdeklődők számára kellő felvilágosítást nyújtanak a témában ([2][12]).

Az irányítási folyamat alapja, mint ahogyan az következtethető, az előre definiált menetrendi és hálózati adatok (viszonylatok nyomvonala, megállók stb.). A menetrend alapján a járművek hely- idő koordinátapárjai előre meghatározottak, azonban a menetrend készítésekor a felmért utazási igényeket és forgalmi szituációt vették figyelembe, melyek az idő előrehaladtával változhatnak. Ezen felül előre nem látható véletlenszerű vagy állandósuló többletigények illetve hálózati zavarok, műszaki hibák stb. léphetnek fel. A vázolt szituációk esetén a jármű pozíciója eltérhet az előírttól, ekkor az irányítási feladat már nem hajtható végre a menetrendre való támaszkodással. A beavatkozás jellege és mértéke a fellépő differencia mértékétől függ. Amennyiben a menetrendtől való eltérés nem jelentős, akkor a járművezető utasításával vagy akár beavatkozás nélkül zavartalanul zajlik tovább a folyamat. Azonban, ha az eltérés nagy, operatív menetrend készítésével avatkozik be a forgalomirányítás. Ezután az új, ún. operatív menetrendre támaszkodva történik a diszpozíciók számítása. Annak érdekében, hogy a fenti feladatot el tudják látni, a forgalomirányításnak:

- figyelemmel kell kísérnie a járművek mozgását a hálózaton;
- tájékozódnia kell az utasszámról, az esetleges utaslemaradások elkerülése végett;
- információkkal kell rendelkeznie a hálózaton fellépő eseményekről, zavarokról, esetleges jármű meghibásodásokról. [12]

Fontos megemlíteni, hogy a beavatkozás önmagában nem hoz megfelelő eredményt abban az esetben, ha az nem a kellő gyorsasággal történik meg. Annak érdekében, hogy a beavatkozási idő lerövidüljön szükséges a gyors információáramlás, mind a forgalomirányítás, mind az irányított járművek felé.

### 6.1.1 Az operatív forgalomirányítás eszközei és módszerei

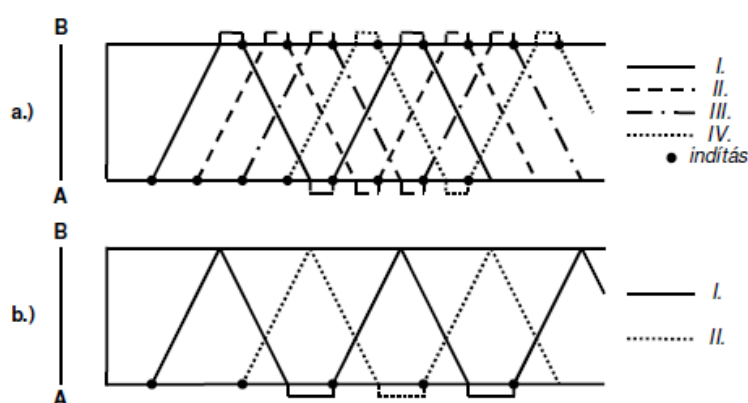
A városi közösségi közlekedés irányításakor a fő hangsúly nem az indulási és érkezési időpontok betartásán, hanem a járatsűrűsége van. Ennek megfelelően az egyes járatok konkrét indulási időpontjait gyakran nem is teszik közzé, hanem csak a követési időközöt közlik (pl. 5 percenként). A forgalomirányítás fő feladatát tehát a viszonylatra előírt

járatsűrűség tartása, az egyenletesség fenntartása képezi. Így a városi menetrend üzemi funkciója erősebb a kereskedelmi funkcióval szemben. További jellemző sajátossága, hogy a menetrendi időadatokat csak a végállomásokra vonatkozóan határozzák meg, az egyes megállóhelyek adatai kevésbé jelentősek. [12]

Az egyenletesség fenntartása a korábban már ismertetett torlódás jelenségének elkerülése végett fontos, melyre hagyományosan a most ismertetésre kerülő struktúrákat alkalmazzák. Jelen dolgozat célja a folyamatok nagyvonalú ismertetése, részletesebb leírást a megjelölt források tartalmaznak ([2][12]).

### 6.1.1.1 Végállomási forgalomirányítás

A végállomási irányító szolgálat látja el a végállomáshoz tartozó viszonylatok irányítási feladatait. A végállomáson történő állapotfelvételt és az esetlegesen szükséges beavatkozást valósítja meg, miközben a járművek közlekedését nem követi végig a vonal teljes hosszában. A végállomási forgalomirányítás megvalósításához értelemszerűen szükséges, hogy a vonalak legalább egyik végpontjában legyen forgalomirányító szolgálat. A 3. ábra egy (a) és két (b) végállomásról történő indítást szemléltet, utóbbi esetben a B végállomáson nincs forgalomirányító szolgálat, így a BA irányú menetrend tartsa bizonytalanabb, mint az AB-é.



**3. ábra: Egy és két végállomásról való indítás**

(forrás: Dr. Prileszky István , Városi tömegközlekedés elektronikus jegyzet [12])

A végállomási menetirányító rendszer legnagyobb hátránya a lassú információáramlás. A forgalmi- és utas adatok, illetve a zavarokra vonatkozó információk késve jutnak el a forgalomirányításhoz, így a beavatkozás is idővesztéssel valósul meg, ráadásul az utasítások csak a végállomásokon adhatóak ki. További hátrányként említhető, hogy gyakran el sem jutnak a vonalközi események (pl. utaslemaradás) a forgalomirányításhoz. Megemlítendő még, hogy ezen az elven teljes hálózat irányítása nem valósítható meg.

A rendszer hatékonyságának növelése könnyedén megoldható feladat. Az információáramlás nagyban felgyorsítható abban az esetben, ha valamilyen hangkapcsolatot (rádiós vagy mobiltelefon kapcsolatot) létesítünk a járművek és a forgalomirányítók között. A járművekről történő folyamatos adatszolgáltatás azonban ebben az esetben sem valósítható meg, mivel a járművezető csak egy-egy lényegi információ közlésére képes vonali közlekedés esetén.

A fentiek alapján kijelenthető, hogy a végállomási forgalomirányítás kis hatékonyságú, elsősorban alacsony terheltségű viszonylatok esetén alkalmazható. [12]

#### 6.1.1.2 Automatikus helymeghatározáson alapuló rendszerek

Az automatikus helymeghatározáson alapuló rendszerek már folyamatos, akár valós idejű helyadatokat tudnak nyújtani a forgalomirányítás részére. Az alábbi csoportokba sorolhatóak:

- ciklikus lekérdezésen alapuló földi járműazonosító és –követő rendszerek;
- műholdas helymeghatározáson alapuló rendszerek;
- eseményorientált földi helymeghatározási rendszerek. [2]

##### 6.1.1.2.1 Ciklikus lekérdezésen alapuló földi járműazonosító és –követő rendszerek

Ennél a rendszernél a jármű helymeghatározásának módja lehet:

- fizikai;
- logikai;

- vagy vegyes.

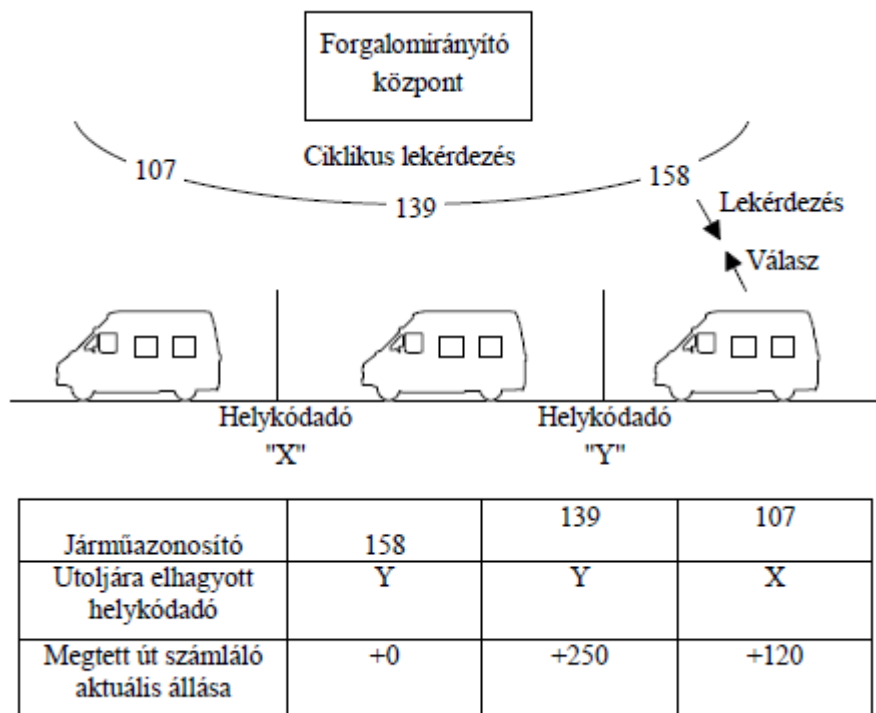
A helyadatok feldolgozásra kerülhetnek a járműre telepített fedélzeti berendezés segítségével, vagy az adatok forgalomirányító központba való továbbítása esetén központi-  
lag. A fent felsorolt módszerek esetén a megtett út mérése kerékfordulat-mérő segítségével történik.

A járműveken tárolt pozícióadatok ciklikusan, előre definiált időközökben egy központi rendszer által kerülnek lekérdezésre, valamilyen vezeték nélküli technológia alkalmazásával. A járművek fedélzeti berendezésein tárolt információk fontosságuk alapján differenciálásra kerülhetnek, így a lekérdezések közötti időköz ennek megfelelően határozható meg. Például a járműről érkező vészhívásokat, beszédkérdéseket gyakran lekérdezi a rendszer (1-5 másodpercenként), míg a helyadatokat ritkábban (15-60 másodpercenként).

A rendszer működéséhez szükséges egy forgalomirányító központ, egy megfelelő központi számítógép a megfelelő perifériákkal, az adatok feldolgozására. Szükséges továbbá valamilyen rádiós rendszer a jármű és forgalomirányítás közötti kommunikációs kapcsolat biztosítására, valamint létesítendőek a forgalomirányító dolgozók munkahelyei.

**Fizikai helymeghatározás** esetén a hálózaton helykódadókat kerülnek telepítésre, melyek a járművek elhaladásakor saját pozíciójukra vonatkozó adatokat sugároznak. A helykódadókat pozíciója ismert, így a kerékfordulat-mérő berendezések segítségével a jármű helyzete meghatározható az elhagyott helykódadó adatai és a mért kerékfordulat alapján. A jármű helyzetét meghatározó számítási folyamatot a 4. ábra szemlélteti.

A helykódadókat telepítése nyújtja a legpontosabb információt, de a viszonylat nyomvonalának változásakor vagy terelésnél nem elég rugalmas.



**4. ábra : A fizikai helymeghatározás elve**

(forrás: Közúti informatika tanszéki jegyzet [2])

**Logikai helymeghatározásról** abban az esetben beszélünk, ha nincsenek telepített helykódadók, helyette a kerékfordulat mérésével a megállóhely elhagyása óta megtett távolság kalkulálható. A megálló azonosítása az ajtónyitás érzékelése után az előző megállótól megtett útnak és a tárolt megállóhely-távolságok sorrendjének összehasonlításából következik. A helymeghatározás pontatlanságának kiküszöbölésére a megállók körül „körbezárt terület” definiálható. Ha a jármű a kijelölt szakaszon belül áll meg, akkor a rendszer az aktuális megállóhelyhez rendeli az ajtónyitást, a területen kívüli megállásokat a járművezetőnek kell kezelnie a beépített fedélzeti berendezésen. A logikai helymeghatározás előnye a fizikaival szemben, hogy hálózati változások és terelések esetén rugalmasan tud igazodni, mivel csak szoftveres beavatkozást igényel a vonali változtatáshoz.

**Vegyes helymeghatározás** esetén a helykódadók által sugárzott helyadatok kerülnek felhasználásra a jármű pozíciójának meghatározása során, a pontosítás érdekében a megállóhelyek adatai is felhasználásra kerülnek. A helykódadó pontos információt nyújt, míg a megállóhely-kerékfordulat adatok folyamatosan szinkronizálásra kerülnek.

Ahogy az előbb is látható volt, a megállóhelyeknél ajtónyitással érzékeli a rendszer, hogy a busz a megállóban áll-e. Az előző megállótól kerékfordulat alapján mért és a valós távolságok összehasonlításából megállapítható, hogy a jármű valóban a megállóban nyitotta-e ki az ajtaját. A járművek aktuális pozíciójának számítása az elhagyott megállóhoz viszonyítva kerül megadásra.[2]

#### 6.1.1.2.2 Műholdas helymeghatározáson alapuló rendszerek

Ezek a rendszerek alapvetően megegyeznek a fent említett ciklikus lekérdezésen alapulókkal, csupán a jármű pozíciójának meghatározásában van eltérés. Ebben az esetben a jármű helyzete beépített GPS<sup>6</sup> készülék segítségével kerül meghatározásra. Jelen dolgozatnak nem célja a műholdas helymeghatározó rendszerek működésének leírása, ezt a megjelölt forrás tartalmazza ( [2] ).

A jármű és a forgalomirányító központ közötti adatáramlás biztosítására bármilyen alkalmas vezeték nélküli kapcsolat alkalmazható, a ciklikus lekérdezés elve a korábbiakban ismertetettekkel megegyező.

#### 6.1.1.2.3 Eseményorientált földi helymeghatározási rendszerek

A fent ismertetett esetektől nagyban eltér, mivel a helyadatok lekérdezése nem ciklikusan történik, hanem előre definiált eseményekhez kötött (kijelölt vonali pontokhoz való érkezés, pl. átszállóhely). A rendszer előnye, hogy ritkábban közvetít adatokat a központ felé, így kisebb feldolgozási kapacitás, kisebb adatátviteli sebesség is elegendő.

A jármű érkezésének észlelése történhet a már ismert helykódadás technika alkalmazásával. Ekkor a járműre telepített adó továbbítja a központ felé a pozícióadatot. Egy másik megoldás, amikor a járműre van szerelve egy kódadó, ami a jármű azonosításához szükséges jeleket sugározza folyamatosan. A vonal mentén telepített fix vevők azonosítják a járműveket és továbbítják az információt a forgalomirányítás felé. [2]

---

<sup>6</sup> Global Positioning System = globális helymeghatározó rendszer

## 6.2 Követési időköz alapú irányítási stratégia

A következőkben egy olyan irányítási stratégia kerül bemutatásra, amely dinamikusan, real-time követési időköz adatok alapján határozza meg a járművek kontroll ponti tartózkodási idejét. A módszer kisebb tartózkodási időkkal képes működni, mint a hagyományos menetrend alapú megközelítés. A rendszer adottságai lehetővé teszik a járművek magasabb utazási sebességét, csökkentve az eljutási időket illetve optimalizálva a kihasználtságot. *Charlos F. Daganzo, 2009-es, A headway-based approach to eliminate bus bunching: Systematic analysis and comparisons* címmel publikált értekezése megfelelő képet ad az ez irányú törekvések bemutatására, a továbbiakban ez kerül részletezésre. [14]

A tanulmány egy új megközelítésből vizsgálja a buszok torlódása okozta káros következmények enyhítését. A vizsgálódás tárgyát olyan viszonylatok képezik, amelyeken a járművek gyakran, kis követési időközökkel közlekednek és gyakori jelenség a buszok egymásra torlódása.

A tanulmány hangsúlyt fektet a járművek vonali sebességének lehetőség szerinti növelésére, illetve a véletlen zavarok következményeinek minimalizálására. Egy egyszerű adaptív irányítási stratégia véletlenszerű zavarok esetén is képes lehet az egyenletes követési időközök biztosítására anélkül, hogy megnövelné a járművek fordulóidejét. A tanulmány célja rámutatni arra, hogy minimális beavatkozással jobb eredmények érhetőek el, mint a már ismertett hagyományos irányítási stratégiák alkalmazásával. A rendszer alapja a követési időközök tartása egy előre definiált értékhez, bizonyos intervallumon belül. Ez azt jelenti, hogy azonos megállóhelyi várakozási idő mellett adaptív stratégia alkalmazásával csökkenthető az utazási idő a hagyományos módszerekhez képest.

A rendszer bemenő paraméterei között a járművekre szerelt GPS nyomkövető rendszerek által szolgáltatott pozíció- és sebesség adatok szerepelnek. Az említett kiszolgáló adatok forglaomirányító központba történő továbbítása után a kontrollponti tartózkodási idők számításra kerülnek, végül ez megjelenik a fedélzeten, járművezetői utasítás formájában. Az irányítási cél a vonalra definiált követési időközök tartása.

A kontrollponti tartózkodási idők becslése mellett léteznek olyan rendszerek, amelyek sebességajánlással próbálják biztosítani az egyenletes követési időközöket, azonban ez

elsősorban kötött pályán alkalmazható, illetve olyan autóbusz viszonylatokon, ahol a szabad áramlás biztosított pl. buszsávok alkalmazásával.

A továbbiakban egy hasonló alapokon nyugvó rendszer kerül ismertetésre, az irányítási cél azonban eltérő.

### 6.3 Önmagát vezérlő, dinamikus irányítási stratégia

Az egyenletes követési időközök fenntartása érdekében a legtöbb szolgáltató az előre definiált menetrendet próbálja tartani, azonban ezt aláássa a dolgozat témáját adó torlódás jelensége. A problémát orvosolandó *John J. Bartholdi* és *Donald D. Eisenstein* 2011-es, *A self-coordinating bus route to resist bus bunching [13]* című publikációjukban számomra jövőbe mutató megoldást írnak le. A tanulmányban elvetik az előre definiált, statikus menetrend vagy követési időköz gondolatát. Az elméletük egy dinamikus, önmagát szabályzó rendszer, ahol egyensúlyi követési időközökkel közlekednek a járművek, mely spontán módon alakul ki, így nyújtva magasabb szolgáltatási színvonalat. A követési időközök maguktól kiegyenlítődnek egy esetleges zavar esetén bármilyen központi beavatkozás vagy akár a járművezető tudta nélkül. Egy ilyen rendszer esetén feleslegessé válhat az állandó diszpécseri beavatkozás szükségessége, a járművek folyamatos felügyelete. A járművezetők válláról is leveheti a terhet, mivel értelmét veszti a menetrend szerint közlekedés. Feleslegessé válik a mentrendszerőség vagy a sebesség folyamatos ellenőrzése, így könnyítve a járművezetők munkáját. Egy ehhez hasonló séma jól működhet városi közlekedés esetén, mivel az utasok többsége nem a menetrendhez igazítja utazásait egy olyan viszonylaton, ahol gyakran (kevesebb mint 10-15 perenként) követik egymást a járművek.

A korábbiakban részletezett busztorlódási jelenség kiküszöbölésére született a tanulmány. A torlódások elkerülésére alapvetően két eszközünk van: az egyik esetben megkérhetjük az elülső jármű vezetőjét, hogy gyorsítson, azonban ez általában nehezen kivitelezhető, főleg nagy forgalmi torlódások esetén. A másik módszer, amit alkalmazhatunk az, ha a követő járművet lassítjuk. Utóbbival az a probléma, hogy mind a jármű mögötti forgalmat, mind a fedélzeten lévő utasokat zavarja. Az említettek miatt általában ún. kiegyenlítő időt használnak, melyek a járművek feltartóztatására szolgálnak bizonyos előre kinevezett megállóknál (a továbbiakban kontroll pont) az egyenletesség



fenntartása érdekében. A siető járművek a kontroll ponthoz érve megvárhatják a számukra előírt indulási időt, míg a késő járművek lefaraghatnak késésükből a kiegyenlítő idő részleges vagy teljes felhasználásával. A kontrollpontok lehetnek olyan megálló, ahol kiemelt szerepet kapnak az átszállási kapcsolatok, vagy a végállomások, ahol egyébként is célszerű, ha a járművek hosszabb ideig várakoznak az egyéb technológiai folyamatok miatt.

Mind a menetrend alapú, mind a követési időköz alapú irányítási stratégia egy előre definiált érték alapján próbál megfelelő szolgáltatást biztosítani. Az említett tanulmány bármilyen hasonló törekvést elvet, mivel szerintük pont ez a gyengepontja ezeknek a megközelítéseknek. Az ideális, elérhető követési időköz nemhogy statikus, de valójában nem is tudható előre, mivel folyamatosan változik. A forgalmi áramlat jellemzői, a járművezető habitusa, a fel- illetve leszálló utasok száma mind-mind befolyásolják az aktuális egyensúlyi értéket. Következésképpen bármilyen rendszer, ami előre meghatározott értékek alapján irányít, előbb-utóbb alábecsüli az elérhető minimális követési időközt, így a járművek késni fognak, vagy éppen túlbecsülik azt, így a járművek kihasználatlanul közlekednek.

A hagyományos rendszerek legfőbb problémája azonban nem a fent említettek közül való. A legnagyobb hiányosság az, hogy egyik stratégia sem tud megfelelően reagálni egy esetleges komolyabb zavarra. Például ha egy jármű műszaki hiba miatt nem tud tovább közlekedni, lyukat hagy maga után egészen addig, amíg a tartalékjármű forgalomba nem áll. Amennyiben a kiesett jármű miatt keletkezett követési időköz kellően nagy, a késleltetési időt is túlnőheti. Előre definiált menetrend esetén a kiesett jármű után érkező akkora késést halmozhat fel, hogy mire a kontrollponthoz érne, már nem tudja behozni a lemaradást, mivel az indulási ideje már elmúlt. Ebben az esetben kénytelen azonnal továbbindulni, azonban továbbra is menetrendi késéssel fog közlekedni. Hasonló szituációban, előre definiált követési időköz esetében a kontroll pontba kalkulált késleltetési idő akár negatív is lehet, ami azt jelenti, hogy a követő járműnek gyorsítania kell. Azonban ez a megoldás csak korlátozott körülmények között érhető el, például buszsávban történő közlekedés esetén.

A fenti példák után kijelenthető, hogy a hagyományos technológiák nem alkalmasak rendszerszintű zavarok elhárítására, mint amilyen egy téli havazás, ami a teljes buszflotta lassulásához, a követési idők növekedéséhez vezet. Kellően nagy zavar esetén min-

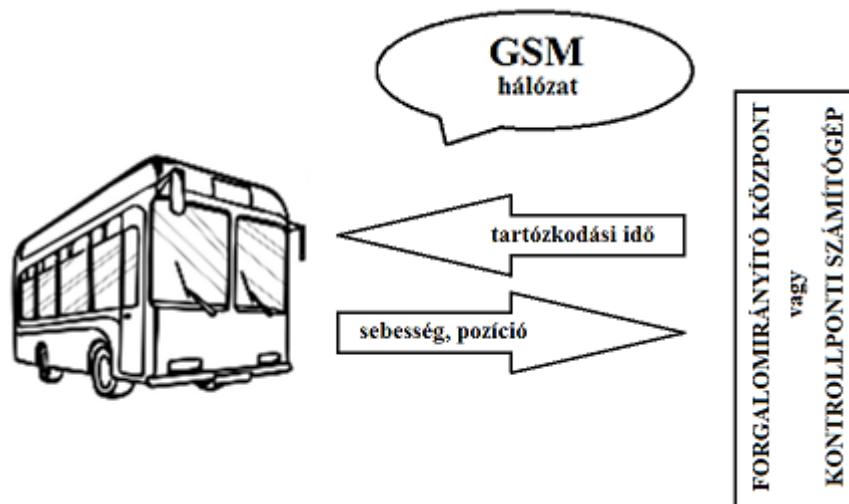
den előre definiált értékekre alapozó irányítási stratégia értelmét veszti, melynek eredménye könnyedén a buszok torlódása lehet.

A továbbiakban tehát egy olyan irányítási rendszer kerül részletezésre, ami elveti a menetrend fogalmát, ráadásul az előre definiált követési időköz gondolatát is. Ezzel a megközelítéssel a rendszer képes egyensúlyi követési időközt elérni, ami az aktuális körülmények hatására változik. A rendszer az elérhető legkisebb követési időköz felé konvergál az aktuális járműszám és utasigény függvényében. Ezt akkor is képes elérni, ha valamilyen zavar éri a hálózatot, vagy amikor egy jármű műszaki hiba miatt nem tud tovább közlekedni. Ebben az esetben a rendszer magától újrapozicionálja a járműveket egy új, szükségszerűen nagyobb egyenletes követési időközzel.

A rendszer működésének alapja az automatikus helymeghatározó rendszer, de olyan minimálisan támaszkodva arra, amennyire csak lehetséges, így alkalmazkodva a rendszer esetleges hiányosságaihoz (például GPS jel pontatlansága vagy elérhetetlensége kedvezőtlen időjárási körülmények mellett vagy magas épületek között közlekedve). A vázolt rendszer egyszerűségét jelzi, hogy a témában készült egyéb tanulmányokhoz képest nem alapoz a megállóban váró utasok számának alakulására, éppen ezért semmilyen mérésre nincs szükség. Ráadásul ahelyett, hogy a járművezetőkre bármilyen hatást gyakorolna, inkább kevesebb beavatkozásra utasítja őket, így azok nagyobb mértékben tudnak a vezetésre koncentrálni.

Az irányítási cél tehát nagyon egyszerűen az átlagos követési időköz, valamint a követési időközök közötti eltérések minimalizálása (egy előre definiált célérték elérése helyett). A következőkben a rendszer alapvető működését részletezném.

Ahogy a menetrend vagy követési időköz alapú stratégiáknál már láthattuk, a most ismertetésre kerülő módszer is a buszok kontrollpontokban történő várakoztatásával avatkozik be. A rendszerben áramló adatokat a 5. ábra szemlélteti. A járművekre szerelt GPS járműkövető rendszer által szolgáltatott sebesség és járműpozíció adatok alapján a forgalomirányító központ vagy a kontrollponti számítógép kalkulálja a kontrollponti tartózkodási időt. Az adatáramlás GSM hálózat igénybevételével valósul meg.



5. ábra: A rendszerben áramló adatok

A kontrollpontba érkező jármű feltartóztatási idejét az alábbi összefüggés szerint kerül kiszámításra:

$$\alpha \cdot h_n, \quad (8)$$

ahol  $0 < \alpha < 1$  a rendszer zavarérzékenységét jellemző paraméter

$h_n$  pedig a kontrollpontba érkező és az azt követő jármű közötti követési időköz

Az egyszerűsítés miatt a rendszermodell  $n$  darab állandó  $v$  sebességgel haladó járműből épül fel, amelyek egységnyi hosszúságú, kör alakú viszonylaton közlekednek. A kijelölt  $0$  pontban van az egyetlen kontrollpont.

Egyensúlyi, zavarmentes körülmények között a járművek között kialakuló követési időköz minden  $t$ -edik időpontban, amikor jármű érkezik a kontrollpontba:

$$h_i^t = \frac{x_{i+1}^t - x_i^t}{v}, \quad (9)$$

minden  $i$ -re, kivéve a kontrollpontba érkező járműre, ahol annak feltartóztatási ideje a fentiekben került ismertetésre

A vázolt rendszer fő előnye, hogy megoldást kínál a torlódások elkerülésére. Ráadásul bármilyen kezdő pozícióból – akár egy forgalmi zavar esetén is – képes magától kiala-

kulni egy egyenletes követési időköz. Ez az egyensúlyi érték ( $h^*$ ) csupán a járművek számától ( $n$ ) és az  $\alpha$  dimenziómentes paramétertől függ:

$$h^* = \frac{1}{n-\alpha} \cdot v, \quad (10)$$

minden  $0 < \alpha < 1$  esetén

Fontos megemlíteni, hogy a fenti értéket a következő tényezők alakítják: egyrészt a járművek feltartóztatási ideje, amely szolgáltató által meghatározott  $\alpha$  paraméter függvénye. Másrészt a járművek  $v$  áramlási sebességétől, amely a forgalmi szituációtól illetve az aktuális utasigénytől függ. Miközben a szolgáltató dönthet a vonalon közlekedő  $n$  járműszámról, előre nem tervezett események, különböző zavarok is hatással lehetnek  $h^*$  értékének alakulására. Tehát ahogy a feltételek változnak, úgy alakul ki a természetes, egyensúlyi követési időköz minden egyes esetben.

Szükség esetén egyszerűen hozzáadhatóak további kontrollpontok a rendszerhez, ami az egyensúly gyorsabb kialakulásához vezet. Ez tipikusan szükséges lehet hosszú viszonylatok, illetve zavarérzékeny szakaszok esetén.  $j = 1 \dots k$  kontrollpont esetén az egyensúlyi  $h^*$  érték az alábbiak szerint módosul:

$$h^* = \frac{1}{(n - \sum_{j=1}^k \alpha_j) \cdot v}, \quad (11)$$

ahol  $\alpha_j$  a  $j$ -edik kontrollpontba definiált paraméter értéke

Számos tanulmány vizsgálja a kontrollpontok ideális helyének és számának problémakörét, azonban ezen séma esetén ez szükségtelen. Az egyes kontrollpontbeli számítások függetlenek egymástól, így azokat könnyedén hozzáadhatjuk vagy levehetjük a hálózatról, anélkül, hogy bármilyen működésbeli zavart okoznánk. Ez a szolgáltató számára teljes szabadságot enged az ideális paraméterek kikísérletezéséhez.

Összefoglalásképpen kijelenthető, hogy a hagyományos irányítási stratégiák megfelelő alternatívákat nyújtanak a közösségi közlekedés kellő színvonalú forgalomirányításának ellátására. Ám olyan viszonylatokon, ahol a fent ismertetésre került automatikus vonali

irányítási rendszerek a korlátozó feltételeikkel alkalmazhatóak, ott nagyobb hatékonysággal valósulhat meg a folyamat.

A továbbiakban a saját megközelítem alapjait kívánom ismertetni, nagyban alapozva a legutóbb ismertetett önmagát szabályzó irányítási rendszerre.

## **7 Saját megközelítés alapjainak lefektetése, implementálhatóság vizsgálata**

### **7.1 Korlátozó és alkalmazási feltételek meghatározása**

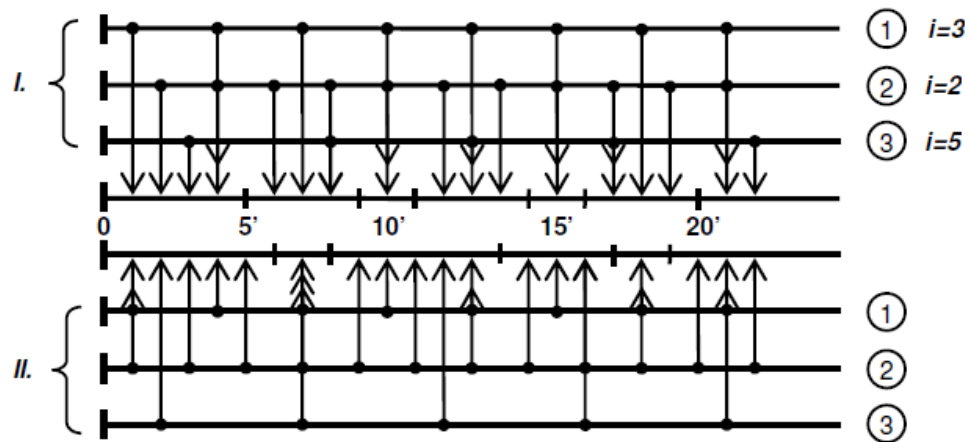
Mielőtt egy saját eljárás konkrét részleteit kidolgoznám, körbe kell járni a rendszer korlátozó feltételeit, működési körülményeit. A továbbiakban a rendszer bevezetésével kapcsolatban felmerülő kérdések kerülnek részletezésre.

- Az első és talán legfontosabb korlátozó feltétel az az, hogy mindenhol szükséges buszöblöt létesíteni. Amennyiben minden megállóban félre tud állni a jármű anélkül, hogy zavarná a forgalmi áramlatot, akkor bármelyik megálló szabadon kinevezhető kontrollpontnak. A kialakítandó rendszer rugalmassága növelhető, ha a kontrollpontok helyét és számát szükség szerint változtatni lehet. Adott esetben, például zavart szakasz esetén, hozzáadhatunk kontroll pontokat a zavart szakasz pozíciója alapján, így javítva ott az egyenletes járműérkezést. Egy ilyen esetleges beavatkozás alapfeltétele a meglévő buszöblöknek annak érdekében, hogy a beálló jármű ne zavarja a forgalom további résztvevőit.

Természetesen a rendszer akkor is működőképes, ha csupán a viszonylat néhány kitüntetett megállója van buszöblökkel kiépítve, ebben az esetben azonban a rendszer rugalmasságából veszít.

- A fenti feltételhez szervesen kapcsolódik a következő probléma: amennyiben több viszonylat járművei közlekednek egy adott vonalon és esetlegesen ugyanazokat a megállókat is használják, abban az esetben azokat hangolni szükséges az ún. nóniusz hatás kiküszöbölése érdekében. A nóniusz hatás akkor lép fel, ha egy útvonalon több viszonylat járművei közlekednek. Példaképpen legyen az útvonalon három viszonylat 3, 2 és 5 perces követési időközzel. A nóniusz hatás

jelenségét a 6. ábra mutatja. Az így jelentkező torlódást igen nehéz megszüntetni, jelen dolgozatnak ez nem is elsődleges célja.



**6. ábra: A nóniusz hatás**

(forrás: Dr. Prileszky István, *Városi tömegközlekedés [12]*)

Ha az egyik viszonylat járműve éppen egy kontrollpontban várakozik miközben a másik viszonylat követő járműve is be szeretne állni a megállóba, akkor vagy hangolni kell egymáshoz képest a viszonylatokat, vagy több jármű befogadására alkalmas buszöblöket kell kialakítani. Az előbbi tűnik célszerűbbnek, de ez már igen összetett irányítási feladatot jelenthet. Jelen dolgozat célja egy konkrét viszonylat vizsgálata, egy esetleges továbbfejlesztési lehetőségként a jövőben tovább boncolható ez a funkció.

- Az optimalizálási feladat egy másik kulcsfontosságú kérdése a kontrollpontok elhelyezésének és számának a kérdésköre. Amennyiben gyors és nagy pontosságú beavatkozást szeretnénk, célszerű sok kontrollpontot kinevezni, azonban ekkor a járművek vonali sebessége alacsonyabb lesz a folyamatos beavatkozás miatt. Amennyiben kevés kontrollpontot iktatunk be, a járműveket kevesebbet várakoztatjuk, így a vonali sebességük is nagyobb lesz, azonban ebben az esetben a rendszer beavatkozási ideje jóval nagyobb lesz, az egyenletes követési időközök kialakulása sokkal több időt vesz igénybe.
- Figyelembe veendő a járművezetők pihenő- illetve munkaidejére vonatkozó korlátozások. Abban az esetben, ha a menetrend előre definiált, a tervezés során

a munkaidőre vonatkozó előírások könnyedén betarthatóak. Azonban egy esetleges real-time irányítás esetén folyamatosan figyelemmel kell lenni a járművezetők munkaidejére. Terveim szerint a pihenőidők nem előre definiált időintervallumban lesznek eltölthetők, hanem meghatározott munkaidő letöltése után. Ebben az esetben a végállomásra érve a jármű kikerül a forgalomból a pihenőidő leteltéig. A jármű távollétében, illetve újbóli forgalomba állásakor a rendszer egyenletes időközök biztosításával ismételten egyensúlyi állapotba kerül, így komolyabb problémát nem okoz a jármű forgalomból való kiállása.

- Ezen felül problémát jelenthet a járművezetők váltása. Mivel nincs előre definiált menetrend, így az sem tudható pontosan, hogy a járművezető munkaidejének lejártakor a vonal mely részén fog éppen közlekedni. Ebben az esetben a járművezetőket arra lehetne utasítani, hogy mindig adott végállomáson fejezzék be a munkát, így a váltások helyszínével már nem kell tovább foglalkozni. A váltás időpontja azonban továbbra is problémát jelent. Abban az esetben, ha járművezetőket a váltásokkor nem adott járművekhez, hanem a meghatározott időintervallumban érkezett járművekhez kötjük, a rendszer rugalmasságot nyer. Ebben az esetben a váltások csupán időintervallumhoz lennének kötve, a járművet pedig az aktuális szituáció határozná meg. Kérdéses, hogy a leváltandó járművezető munkaideje lejárt után mennyi ideig vezethet a váltásig, illetve ez gazdaságilag mennyire terheli a társaságot (túlóra).
- A rendszer jótékony hatással bírhat a járművezetők munkavégzésére, annak körülményeire. Egy olyan rendszer, amely csak a vonal bizonyos pontjain küld munkavégzésre vonatkozó utasításokat, nagyban könnyítheti a járművezetők munkáját. Szükségtelenné válhat részükről a folyamatos menetrend szerint való közlekedés. Szabadon, az adott forgalmi szituációnak megfelelően vezethetnek, a kontrollpontokban pedig végrehajtják a kiadott utasítást. Ez kevésbé feszített munkavégzést, nagyobb koncentrációt tesz lehetővé, így könnyebben összpontosíthatnak a vezetésre.
- Vizsgálandó a járművezetők munkakezdése, a járművek indítása. A reggeli munkakezdekéskor egy meghatározott ütemterv szerint kerülnek szolgálatba a járművek. A napi utasterheltség ingadozásának megfelelően a be- illetve kilépő járművek biztosítják a megfelelő nagyságú flotta közlekedését. A rendszer elő-

nye, hogy be- illetve kilépő járművek esetén automatikusan egyensúlyi helyzet alakul ki. Az adott igényeket lefedő járműszám becslésére pedig a historikus utasszámokból lehet következtetni. Az igények túlbecslése esetén járművek kivonása szükséges az optimális kihasználtság biztosítása érdekében. Egy esetleges alábecslés esetén pedig többletjárművek hozzáadásával biztosítható a megfelelő kapacitás.

- A rendszer működésének pontosítása érdekében célszerűnek látom az utasszámot a rendszer bemenő paramétereire közé venni. Terveim szerint ennek mérése a járműveken és a megállóban egyaránt szükséges lenne. Amennyiben megvalósulásra kerül az utasterheltség mérése a járműveken, azok kijelzésre kerülhetnek a megállóban. Ebben az esetben azokat a járműveket, amelyeken kevesen utaznak, az utasok egy része megvárna, így egyenletesebbé téve a járművek kihasználtságát. Ez a gondolat felveti a kérdést, hogy a megállóban álló utasok mennyire hajlandóak tovább várakozni egy kevésbé zsúfolt jármű miatt. Továbbá kérdéses, hogy az utasok megállóban hagyása mennyire egyeztethető össze a szolgáltató utaspolitikájával.

A járművön lévő, valamint a megállóban tartózkodó utasszám becslésére megfelelő technológiák állnak rendelkezésre.

- Egy további vizsgálandó pont az utazások tervezhetőségének kérdésköre. Mivel a kialakítandó rendszer olyan viszonylaton alkalmazható, ahol a követési időközök alacsonyak, így az előre meghirdetett menetrendben elegendő a várható követési időközöket feltüntetni, ahogy ez már most is szokásos (pl. 4-6 percenként).

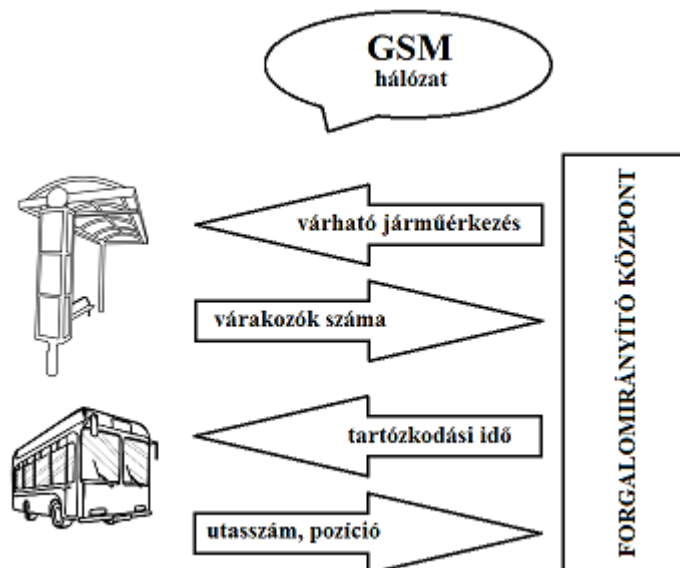
Az aktuális járműérkezés megállóhelyi kijelzésére könnyedén alkalmazhatóak a FUTÁR projekt keretein belül telepített közterületi utastájékoztató kijelzők.

- Az általam prezentált rendszer bemenő adatai között az aktuális utasszámok mellett a járművek aktuális pozíciója és sebessége szerepel. A FUTÁR projekt keretein belül a járművek GPS alapú járműkövető rendszerrel vannak ellátva, így azok valós idejű pozícióadatainak biztosítása már létező funkció.
- A járművezetők beavatkozó szerepe abban nyilvánul meg, hogy a kiadott időpontnak megfelelően hagyják el a kontrollpontokat. Erre használhatóak a FUTÁR projekt keretein belül telepített fedélzeti berendezések. A rendszer je-



lenleg is alkalmas szöveges utasítások küldésére, így a járművezetők utasítása sem igényel további fejlesztést.

A fent vázolt pontok csupán áttekintő, vizsgáló jellegűek, a pontos kidolgozásuk további kutatómunka tárgyát képezik. Azonban az már most kijelenthető, hogy az általam kidolgozásra kerülő irányítási stratégia esetleges FUTÁR rendszerbe illesztésekor jelentős beruházással nem járna, mivel a szükséges hardvereszközök rendelkezésre állnak. A rendszerben végbemenő nagyvonalú adatáramlást a 7. ábra szemlélteti. A járműről érkező utasszám- és pozícióadatokat, valamint a megállóhelyi utasszám adatok alapján a forgalomirányító központban kalkulálásra kerül a kontrollponti tartózkodási idő, illetve a várható járműérkezés időpontja kiküldésre kerül a közterületi utastájékoztató kijelzőkre. Az adatáramlás GSM hálózaton keresztül történik.



**7. ábra: Prezentált rendszerben végbemenő adatáramlás**

A továbbiakban egy esetleges implementálásra alkalmas viszonylatot keresek a felépített szempontrendszer alapján.

## 7.2 Vizsgálandó viszonylat kiválasztása

A rendszer működésének értékeléséhez egy jelenleg is működő budapesti viszonylatot vizsgálnék a rendszer részletes kidolgozása után, mely a szakdolgozatomban kerül majd részletezésre. A viszonylat kiválasztásakor az alábbi szempontokat vettem figyelembe:

- A rendszer alapvetően a buszok torlódása okozta káros hatásokat hívatott kiküszöbölni, így az elsődleges szempont egy olyan viszonylat kiválasztása, amely csúcsidőben kellően kicsi, kevesebb, mint 10-15 peres követési időközökkel közlekedik.
- A választott viszonylatnak könnyen kezelhetőnek, kell lennie a modellezhetőség érdekében, ezért rövid viszonylatot kerestem.
- A viszonylatnak elsősorban feltáró illetve kiszolgáló szereppel kell rendelkeznie, a kapcsolati funkció helyett. Így figyelmen kívül hagyható az átszállási kapcsolatok biztosítása.
- A viszonylatnak kellően nagy utasterheltségűnek kell lennie ahhoz, hogy az esetleges hosszas utascserék a menetrend szerinti közlekedést akadályozzák.
- Lehetőleg olyan útvonalon közlekedjenek a járművek, amely forgalmi szempontból is problémás. A kialakult torlódások vagy a közlekedést akadályozó gyakori szabálytalanságok akadályozzák a járművek szabad közlekedését.

A fent felsorolt szempontok alapján első körben az alábbi viszonylatokat választottam:

- busz viszonylatok: 16, 16A, 27, 57-257, 149, 165, 159;
- trolibusz viszonylatok: 81, 83.

Ezek után a választásom a 149-es számú autóbusz viszonylatra esett. A viszonylat néhány jellemző paramétere:

- két végállomása Széll Kálmán tér és Fenyves utca;
- a viszonylat két irányában a járművek nem ugyanazt az útvonalat járják be;
- a Széll Kálmán térről induló járművek 12 perces menetidővel, 9 db köztes megállóval közlekednek;
- Fenyves utcából indulva a tervezett menetidő 11 perc, 10 db köztes megálló érintésével;

- csúcsidőben a legkisebb követési időköz 6-7 perc, holt időben ez 7-9 perc között alakul
- a viszonylaton elsőajtós felszállást alkalmaznak, így a fedélzeti jegyárúsítás és hosszas utascserék nagyban nehezítik a járművek menetrend szerinti közlekedését.
- 

A választott viszonylat útvonalát lásd az 1. mellékletben.

### **7.3 Vizsgálat szempontrendszerének kialakítása**

Annak érdekében, hogy a modellezett viszonylat az általam javasolt megközelítéssel történő irányítás esetén milyen előnyökkel és hátrányokkal járna, egy, az összehasonlítás alapjául szolgáló szempontrendszert kell kialakítani. Jelen dolgozatban ezen szempontrendszer nem kerül végleges meghatározásra, csupán az alapvető körvonalak kerülnek felvázolásra.

A szempontrendszer elemei lehetnek a következő paraméterek:

- követési időközök egyenletessége;
- járművek utasterheltsége;
- üzemanyag felhasználás;
- üzemeltetési költségek.

Vizsgálandó, hogy a prezentált rendszer esetén az üzemóra alapú elszámolás mennyiben változtatja a társaság költségeit a jelenlegi menet alapú elszámolási rendszerhez képest.

A fenti paraméterek megfelelő súlyozása után összehasonlíthatóvá válik a jelenleg alkalmazott és a dolgozatban taglalt irányítási stratégia.

### **7.4 Későbbi kutatómunka ismertetése**

A kutatómunka folytatásaként szakdolgozatom keretein belül kívánok tovább foglalkozni a témával. Terveim között szerepel a már fent bemutatásra került viszonylat modellezése és a kidolgozásra kerülő irányítási stratégia programozása VISSIM Szimulá-

ciós környezetben, MATLAB szoftver segítségével. Továbbá a FUTÁR rendszer részletesebb ismertetése is terveim között szerepel, jelen dolgozatban részletesebben nem ismertettem a fejezet titkosítási folyamatának elhúzódása miatt.

A szimuláció alapján, a fenti szempontrendszerrel továbbfejlesztve értékelem a kutatási munkám eredményeit.

## 8 Összefoglalás

A közösségi közlekedés menetrendszerűségének biztosítása elődleges feladat, melyre számtalan módszer került már kifejlesztésre. A technológiai fejlődéssel párhuzamosan a forgalomirányítás automatizálása is egyre nagyobb mértékben valósul meg. Annak érdekében, hogy egy kellő rugalmasságú irányítási rendszer épülhessen ki, célszerűnek látszik az előre definiált menetrendtől való elszakadás és egy olyan rendszer kiépítése, amely az aktuális forgalmi szituációnak és utasterheltségnek megfelelő szolgáltatást tud nyújtani, kellően magasan színvonalon. A budapesti forgalomirányítás korszerűsítésére létrehozott FUTÁR projekt része egy automatizált vonali szabályzó rendszer, jelen dolgozat egy másfajta megközelítésből vizsgálta a témát.

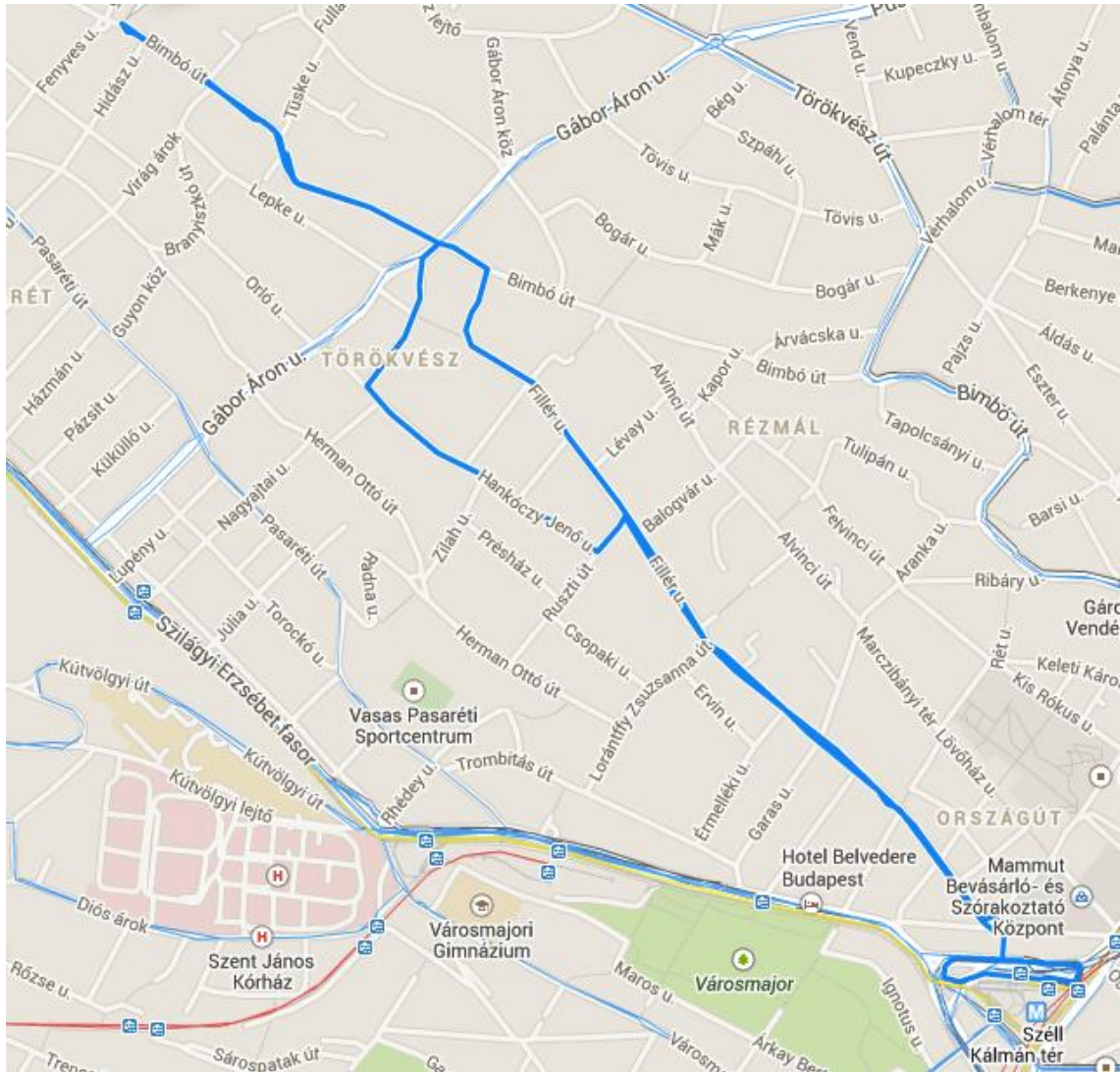
Az általam bemutatott rendszer egyik legfőbb előnye a menetirányító diszpécsernek munkavégzésének könnyítése, a feladataik számának csökkentése, így függetlenítve a forgalmi folyamatot az emberi mulasztás lehetőségétől. Egy automatizált vonali szabályzás esetén ugyanis a diszpécsernek elsősorban felügyeleti szerepet kapnak, mivel a beavatkozó szerepét az automatizmus látja el. Nincs szükség operatív menetrendre, így a vonalon közlekedő járművek felügyeletén és a történések könyvelésén kívül a diszpécsernek további feladata nincs. A feladatkör abban az esetben tovább csökkenthető, amennyiben a vonali történések (pl. zavarok által az előírt szolgáltatási színvonal nem tartható, műszaki hiba, baleset stb.) egy részét a járművezető jelentése alapján a rendszer automatikusan könyveli.

## 9 Irodalomjegyzék

- [1] *Maged Dessouky, Randolph Hall, Lei Zhang, Ajay Singh* **Real-time control of buses for schedule coordination at a terminal**, 2002
- [2] *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék* **Közúti informatika tanszéki jegyzet**
- [3] *Budapesti Közlekedési Központ* **Mit érdemes tudni a FUTÁR-ról?**  
URL: <http://www.bkk.hu/fejleszteseink/futar/>, Utolsó letöltés ideje: 2013. november 3.
- [4] *Synergion Rendszerintegrátor Kft.* **A forgalomirányítási és utastájékoztatási rendszer fejlesztése, korszerűsítése a felszíni közösségi közlekedésben - FUTÁR - Konceptcionális terv**, 2011
- [5] *Mihálszky Gábor* **A BKV ForTe rendszerének menetrendi programja**
- [6] *Newell és Potts* **Maintaining a bus schedule**, 1964
- [7] *Paine* **Consumer Conceived Attributes of Transportation: An Attitude Study**, 1967
- [8] *Golob* **An analysis of consumer preferences for a public transportation system** 1972
- [9] *Wallin és Wright* **Factors which influence modal choice**, 1974
- [10] *Carlos F. Daganzo és Josh Pilachowski* **Reducing bunching with bus-to-bus cooperation**, 2010
- [11] *Yiguang Xuan, Juan Argote, Carlos F. Daganzo* **Dynamic bus holding strategies for schedule reliability: Optimal linear control and performance analysis**, 2011
- [12] *Dr. Prileszky István* **Városi tömegközlekedés, elektronikus jegyzet**, Győr 2005
- [13] *John J. Bartholdi és Donald D. Eisenstein* **A self-coördinating bus route to resist bus bunching**, 2011
- [14] *Charlos F. Daganzo* **A headway-based approach to eliminate bus bunching: Systematic analysis and comparisons**, 2009

## 10 Mellékletek

### 10.1 1. melléklet: A választott viszonylat útvonala



1. melléklet: 149-es viszonylat térképen

(forrás: <https://maps.google.com>)