



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedésüzemi Tanszék

**Operatív menetrendkészítés
automatizálási lehetőségeinek vizsgálata
a városi közösségi közlekedésben**

Nagy Enikő

Közlekedésmérnöki Msc, 4. félév

Konzulens: Dr. Csiszár Csaba, egyetemi docens

BME Közlekedésüzemi Tanszék

A dolgozat bemutatását a TÁMOP - 4.2.2.B-10/1--2010-0009 "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben című program támogatta.

2012. november

Tartalomjegyzék

Bevezetés	- 1 -
Irodalomkutatás	- 3 -
1. A téma aktualitásának indoklása, az előzmények összefoglalása	- 4 -
1.1. A téma aktualitásának vizsgálata vállalati szempontból	- 4 -
1.2. A téma aktualitásának vizsgálata technológiai szempontból	- 6 -
2. A BKK Zrt. forgalomirányítási tevékenységének vizsgálata	- 8 -
2.1. A BKK Zrt. szervezeti felépítése	- 8 -
2.2. A Forgalomfelügyelet működése	- 9 -
3. A forgalomirányítás szabályrendszerének vizsgálata	- 15 -
3.1. Zavarok csoportosítása	- 15 -
3.2. A menetirányító diszpécser feladatai késések kezelésekor	- 16 -
3.3. A menetirányító diszpécser feladatai járműkiesés kezelésekor	- 19 -
3.4. A forgalomirányítási szabályrendszer szemléltetése esettanulmányon keresztül	- 22 -
4. A forgalomirányítás informatikai rendszerének vizsgálata	- 24 -
4.1. A ForTe EFJ Indítási jegyzék működése	- 24 -
4.2. A forgalomirányítás informatikai rendszerének fejlesztése	- 26 -
4.3. Az IVU.fleet Indítási jegyzék működése	- 29 -
5. Az operatív menetrendkészítés automatizálása	- 32 -
5.1 A döntéstámogatási rendszer bevezetése informatikai szempontból	- 34 -
5.2. Az operatív menetrendkészítés automatizálásának működési modellje	- 38 -
5.3. A kidolgozott modell működési fázisainak részletes elemzése	- 42 -
5.4. A kidolgozott modell működésének szemléltetése	- 48 -
5.5. Az operatív menetrend-módosítás automatizálásának hatása	- 50 -
6. Jövőbeli kitekintés	- 52 -
Összefoglalás	- 53 -
Irodalomjegyzék	- 54 -
Mellékletek	- 55 -

Bevezetés

A városi közösségi közlekedésben előforduló **zavarok** kialakulását számos tényező (műszaki, humán, környezeti, stb.) okozhatja. Ennek következtében **a tervezett menetrend nem tartható. A kialakuló forgalmi helyzeteket** a forgalomirányító diszpécserok kezelik, például operatív menetrend-módosítással, pótlással, stb. A cél: a **szolgáltatási színvonal megtartása**, az utaskiszolgálási fennakadások mérséklése. Operatív menetrend-módosításról beszélünk, ha a zavar által közvetetten vagy közvetlenül érintett járművek – az **egyenletes követési idő** biztosítása érdekében - a **menetirányító diszpécserok által meghatározott**, a menetrendtől eltérő **indítási időponttal** közlekednek.

A menetirányító diszpécserok munkájának jelentős részét a **valós idejű beavatkozások** képezik, melyet többnyire **manuálisan**, gyakorlati tapasztalataikra hagyatkozva, és az előírt szabályrendszer betartására törekedve valósítanak meg. Az operatív menetrend-módosítás során a járművek új indítási időpontjainak meghatározása **minimális számítógépes támogatással** valósul meg. Ez a jelenleg elérhető **technológiai színvonalnak** nem felel meg.

TDK dolgozatomban a menetirányító diszpécserok zavarkezelési eljárásai közül csak az **operatív menetrend-módosítással** foglalkozok, az egyszerűsítés kedvéért egyetlen alágazat, az autóbuszos közlekedés példáján keresztül. A vizsgálati módszer és az eredmények megfelelő adaptálással más alágazatokra is kiterjeszthetők.

A dolgozat célja a forgalomirányításban jelenleg alkalmazott szabályrendszer, valamint esettanulmány segítségével az alkalmazott operatív intézkedések bemutatása. Mindezek ismeretében az **operatív menetrend-módosítás folyamatának automatizálásához** szükséges bemenő adatok, a számítási folyamat és a kimenő adatok meghatározása, a menetirányító diszpécseri munkakör esetében.

Munkám során vizsgálom az operatív menetrendkészítés automatizálásának aktualitásait mind **technológiai**, mind **vállalati oldalról**. Részletesen elemzem a forgalomirányítás jelenlegi szabályrendszerét, a menetirányító diszpécserok napi feladatait a hozzájuk kapcsolódó **informatikai rendszer** áttekintésével.

A feladat összetettségének szemleltetéséhez esettanulmányban vizsgálom az egyes zavarok hatásait, a zavar típusától függően a menetirányító **diszpécser**ek **beavatkozási döntéseit**. A naplózott zavareseményekre és a diszpécser

ek által módosított menetrendekre alapozva **szabályszerűségek** felállítása a cél. Ez az operatív menetrend-módosítást segítő algoritmus tervezésének kiindulása.

Az operatív menetrendkészítés automatizálása egy komplex **döntéstámogatási rendszer** része lehet. Az algoritmus **statikus** (tervezett menetrend, szabályrendszer) és a **valós idejű adatokra** támaszkodva (zavar típusa, helyszíne) kiszámítja az érintett járművek új indulási idejét.

Az automatizálás hatására a menetirányító diszpécser

ek munkája hatékonyabbá válik, az automatizált rendszer hibamentes működése esetén **kisebb humán erőforrással** biztosítható a közösségi közlekedés operatív forgalomirányítása, magasabb szolgáltatási színvonal mellett. A tervezett algoritmus **kezeli** a járművezetők

re vonatkozó munkaügyi szabályokat, a járművek közlekedésével kapcsolatos technológiai paramétereket. **Zavaresemény bekövetkeztének ellenére is biztosítja** a szabályok és a forgalmi körülmények figyelembevételével a **járművek egyenletes követési idejét**.

A jövőbeli cél a forgalomirányító diszpécser

ek számára egy olyan **döntéstámogatási rendszer** kidolgozása, melynek része az operatív menetrend-módosítás automatizálása. Hosszútávon célkitűzés egy olyan **algoritmus** megalkotása, mely általános eljárásként a lehetséges paraméterezhető értékeknek köszönhetően más közösségi közlekedési rendszerre is alkalmazható. Azonban a jelenlegi igény és a budapesti rendszer komplexitása, valamint sajátosságai miatt elsőként a budapesti közösségi közlekedésre készül. Dolgozatomban emiatt kizárólag a **budapesti forgalomirányítás** vizsgálatával foglalkozom. A tervezett megoldás a Budapesti Közlekedési Központ folyamatainak elemzését követően a saját vállalati környezetébe illeszthető.

Irodalomkutatás

Az operatív menetrendkészítés automatizálásának több célja lehet. Kínai kutatások vizsgálták a menetrend valós idejű tervezését az utasforgalom váratlan növekedésére alapozva. A diszpécser munkáját támogató rendszer követi a közlekedési igények változását és újratervezi a menetrendet, vizsgálva a járművek és a személyzet rendelkezésre állását. [1] A budapesti közlekedésben az operatív menetrendkészítés a menetirányító diszpécserok zavarkezelési eljárásainak egyike. [2]

Ezekből arra következtethetünk, hogy a döntéstámogatási rendszer az adott forgalomirányítás saját technikájára, preferenciáira épül (lehet az utasforgalmi igények kielégítése vagy a fellépő zavarok hatásának minimalizálása). A budapesti közlekedésben cél egy olyan döntéstámogatási rendszer kifejlesztése, mely a zavarkezelési eljárások kiválasztásában, végrehajtásában nyújt segítséget. Ennek része az operatív menetrendkészítés automatizálása. [3] [4]

A döntéstámogató rendszer egy interaktív, számítógép alapú rendszer, mely adatbázisok, döntési modellek és a felhasználó ítélőképessége alapján segíti a döntéshozókat a problémák megoldásában. A döntés a számítógép és az ember közös munkájának eredménye, mely a szakmai tevékenységek hatékonyságát javítja. [5] [6]

A döntéstámogató rendszer három részből épül fel [7]

- adatbázis vagy adattárház, mely a működéshez szükséges információkat tárolja,
- döntési modell, mely a döntési kritériumok figyelembe vételével, matematikai modellekre és a bemenő adatokra támaszkodva előállítja a kimenő adatokat [6],
- felhasználói felület, mely a döntéstámogató rendszer és a felhasználó között teremt kapcsolatot.

A döntési modell megalkotásához a felhasználó által gépi támogatás nélkül végrehajtott döntési folyamat programozása szükséges. Ehhez a mesterséges intelligencia tudományát használják, mely az ember döntéseit ülteti át számítógépes környezetbe.[8]

Dolgozatomban vizsgálom, hogy a menetirányító diszpécserok munkájuk során milyen információkra támaszkodva, és milyen döntési eljárások alapján dolgoznak. Mindezek ismeretében elemzem, milyen adatbázisokra és milyen modellek felállítására van szükség a döntéstámogatási rendszer fejlesztéséhez, azon belül az operatív menetrendkészítés automatizálásához.

1. A téma aktualitásának indoklása, az előzmények összefoglalása

Az operatív menetrendkészítés automatizálása régóta cél a budapesti közlekedésben. A technológiai színvonal, a vállalati átszervezések és a FUTÁR¹ kialakításának folyamata miatt aktuális egy döntéstámogató rendszer részeként az automatizálás lehetőségének elemzése. Több tényező együttes jelenléte indokolja a kérdéskör vizsgálatát.

1.1. A téma aktualitásának vizsgálata vállalati szempontból

1. Szervezeti átalakítás

A Budapesti Közlekedési Központ (BKK.) Zrt. 2011-től fokozatos integrációt hajtott végre, mely során a BKV Zrt.-től többek között a forgalomirányításhoz kapcsolódó feladatokat saját hatáskörébe vonta. Az integrációs feladatok végrehajtása az elmúlt években prioritást élvezett a napi tevékenységek elvégzése mellett. A szervezeti átalakulás lezajlása után már a **BKK koncepciójának megfelelően** koncentrálni a vállalat a **fejlesztési feladatokra** például az **informatikai rendszer fejlesztésére**, a viszonylathálózat átalakítására, stb. [9]

2. Fejlesztési projektek

A budapesti közösségi közlekedési vállalat sok **műszaki problémával** küzd. A járműállomány öregedése miatt egyre gyakoribb a járművek meghibásodása, mely hálózati zavarokhoz vezet(het). A járművek kiesnek a forgalomból, amit pótolni szükséges, és/vagy - megoldási lehetőségektől függően - az előírt indulási időpontokat kell módosítani. A zavarok hatására a diszpécser munkájának jelentős részét a forgalmi zavarkezelés és az ezzel kapcsolatos adminisztratív és tájékoztató tevékenységek teszik ki (járművezetők tájékoztatása, zavarnapló felvétele, operatív indulási időpontok kiszámítása stb.). Az **operatív menetrend-módosítást**, az új indulási időpontok kiszámítását manuálisan, **minimális számítógépes támogatással** végzik, a vonatkozó szabályrendszer betartásával. Zavar esetén a menetirányító diszpécser feladata a megoldási lehetőségek közül az optimális kiválasztása. A lehetőségek

¹ **FUTÁR:** Forgalomirányítási és UtasTÁjékoztatási Rendszer

számbavétele hosszadalmas feladat. Mindemellett a jelenleg alkalmazott manuális megoldások nincsenek összhangban a ma elérhető technológiai színvonallal. Az automatizáltság és a döntéstámogató rendszer hiánya miatt fennáll a hibázás valószínűsége - *nem a forgalmi szempontból leginkább megfelelő megoldást választja, rosszul becsli egy-egy zavar lefolyásának időtartamát, stb.* -, ami a feladat összetettségével arányosan nő. Amennyiben a teljes folyamat - vagy annak egy része - automatizálható, úgy a hibázás valószínűsége csökken, sőt munkaerő takarítható meg.

A BKK Zrt. a terveiben szerepel egy, a diszpécserek munkáját segítő **döntéstámogató rendszer kifejlesztése**, melybe jól beilleszthető az operatív menetrendkészítés szoftveres támogatása. A fejlesztések előkészületei már megvalósultak. Ezek mellett a FUTÁR bevezetésével a jelenleginél jóval több és pontosabb adat áll majd a döntéshozók rendelkezésére a járművek helyzetéről, időadatairól, a zavarok helyszínéről, stb. [4]

A menetirányító diszpécserek számára kifejlesztendő döntéstámogató rendszer feladata a valós idejű adatokból meghatározott forgalmi információk alapján, a fellépő zavaresemények kezelésekor intézkedési ajánlatok megtétele a menetirányítás részére. Fejlesztése **többlépcsős eljárás** keretében valósul meg: [3]

- 1. szint:** zavaresemény fellépésekor a döntéstámogató rendszer egy adott időpillanatra vetítve *check-listákat* jelenít meg. Ez a diszpécser által végrehajtandó feladatokat tartalmazza (pl.: értesítendőek listája, tartalékjárművek listájának megjelenítése). A diszpécser a zavar körülményeinek pontosítása érdekében címkék választásával szűkítheti az intézkedések listáját, vagy megtekinthet egyéb kiegészítő információkat is (pl.: térképes megjelenítés). Ezután checkbox kitöltésével regisztrálhatja a végrehajtott feladatokat (kitöltetlen állapot esetén azokat megjegyzésben indokolhatja). Ez a későbbi vitás esetek kezelésénél is hasznos lehet.
- 2. szint:** a döntési pontokon a rendszer már nem csak *check-listákat*, hanem *forgalom-lebonyolítási eljárásokat* dolgoz ki az egyes zavaresetekre (a Viszonylatonkénti Forgalomirányítási Technológiákra alapozva). A döntéstámogató rendszer azonban csak egy adott időpillanatban fennálló körülményeket (pl.: késés mértéke) vesz csak figyelembe és *nem számol a*

változásokkal (pl.: időadatok frissülése). Az *operatív menetrend-módosítás* támogatását ez a szint *nem tartalmazza*.

- 3. szint:** *forgalom-lebonyolítási eljárásokat* dolgoz ki az egyes zavar esetekre, de csak *egy adott időpillanatban* fennálló körülményekre vonatkozóan. Az *operatív menetrend-módosítás* automatizálását ez a szint *tartalmazza*.
- 4. szint:** *forgalom-lebonyolítási eljárásokat* dolgoz ki az egyes zavar esetekre és a *valós idejű adatok* változása esetén módosítja a beavatkozásokat. Az *operatív menetrend-módosítás* támogatását ez a szint *nem tartalmazza*.
- 5. szint:** *forgalom-lebonyolítási eljárásokat* dolgoz ki, figyelembe véve a *valós idejű változásokat*. Az *operatív menetrend-módosítás* számítógépes támogatása ennek a döntéstámogatási szintnek egy részét képezi.

TDK dolgozatomban a döntéstámogató rendszer **5. szolgáltatási szintjének** egy részét, az **operatív menetrend-módosítás automatizálását** vizsgálom, **valós forgalmi körülményekre** alapozva.

1.2. A téma aktualitásának vizsgálata technológiai szempontból

1. A mesterséges intelligencia alkalmazása

A mesterséges intelligencia alkalmazása ma már egyre nagyobb teret hódít a különböző tudományterületeken, így a közlekedésben is. A számítógépes technológiai színvonal elérte azt a szintet, hogy az emberi gondolkodási folyamatok egy része leírható formálisan, matematikai algoritmusok segítségével. Az emberi gondolkodásmódot, az ember döntéseit próbálja meg átültetni számítógépes környezetbe. [10]

A TDK dolgozat témájához kapcsolódóan az operatív menetrendkészítés során a diszpécser beavatkozási döntései olyan folyamatok, melyeket az emberi tudás, az emberi tapasztalat vezérel. A mesterséges intelligencia tudománya éppen ezeket az emberi döntési folyamatokat kívánja algoritmizálni. A döntéstámogató rendszer egyik elemének, a működési vagy döntési modellnek a felállításához a diszpécser fejében lejátszódó döntési folyamatnak a vizsgálata szükséges.

A mesterséges intelligencia alkalmazása leginkább olyan feladatok esetében merül fel, amelyeknél nem az ember a legmegfelelőbb a feladat végrehajtására, egyrészt a hibázási lehetőségek, másrészt az egységnyi idő alatt elvégzendő tevékenységek nagy száma miatt. [10] A forgalomirányító diszpécser munkájának egyik kihívása a megfelelő - forgalmi és vállalati szempontokból optimális - döntések meghozása a lehető

legrövidebb idő alatt. Munkájukat nehezíti, hogy túl sok szempontot kell figyelembe venniük (forgalmi körülmények, forgalomirányítás szabályrendszere, munkaügyi szabályok, rendelkezésre álló erőforrások, stb.) rövid idő alatt. A számítógépes támogatottság ilyen esetekben jelentős könnyebbséget jelentene.

2. Forgalmi menedzsment szoftverek alkalmazása

Számos olyan szoftvert alkalmaznak a közösségi közlekedés területén, melyek **intelligens megoldásokat** biztosítanak a forgalomirányításban. Döntéstámogató rendszerként segítik az üzemeltetők munkáját. Ilyen a GIRO cég által kifejlesztett HASTUS szoftver, vagy európai területen a német IVU Traffic Technologies AG forgalmi menedzsment szoftverei.

A GIRO cég elsősorban szoftveres megoldások kifejlesztésére szakosodott, melyek a közlekedéssel kapcsolatos tervezési és irányítási feladatok ellátásában segítik a közlekedési vállalatokat. Az általuk kifejlesztett termékek célja a hatékony **adatkezelési és optimalizációs technikák ötvözése**.^[11]

A német IVU által kifejlesztett modulok közül az operatív menetrendkészítés témaköréhez leginkább a **tervezési és vezénylési modulok** kapcsolódnak. Ezek biztosítják a közlekedési hálózat üzemeltetését és a menetrendkészítést a stratégiai tervezéstől az azonnali beavatkozást kívánó menetrendi változtatásokig. Támogatják a valós idejű beavatkozásokat, figyelembe véve a késéseket és a kimaradásokat. ^[12]

A Budapesten bevezetésre kerülő FUTÁR rendszer informatikai hátterét is az IVU biztosítja, azonban a különböző modulok közül csak néhányat vásárolt meg a BKK Zrt. Ezek a jelenleg használatos ForTe² rendszerrel együtt fognak működni. ^[3]

A **megvásárolt szoftverek között** azonban a **tervezési és vezénylési szoftverek nem szerepelnek**. Éppen ezért az automatizált menetrendkészítő rendszer megalkotása a **magyar tervezők feladata**. Egy megvásárolt szoftver integrálási nehézségeit kiküszöbölendő a tervezés egyértelműen a budapesti közlekedési rendszer sajátosságaira, a forgalomirányító diszpécserek igényeire épül.

Egy döntéstámogató szoftver tervezéséhez a forgalomirányítás rendszerének ismerete szükséges. A következő fejezetekben vizsgálom, hogy jelenleg milyen szabályrendszer és forgalomirányítási technikák alapján végzik munkájukat a menetirányító diszpécserek. Ezek ismeretében az algoritmus belső működése tervezhető.

² **ForTe: Forgalmi Tevékenységek:** a BKV és a BKK Zrt. által használt közlekedés informatikai rendszer

2. A BKK Zrt. forgalomirányítási tevékenységének vizsgálata

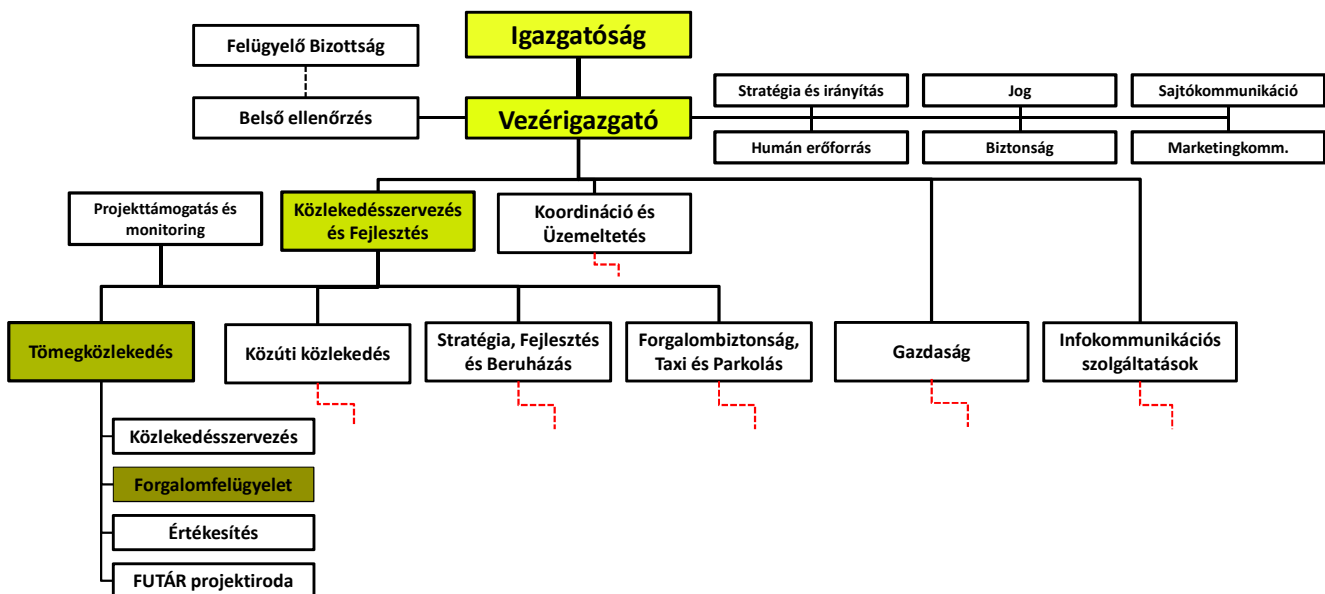
Jelen fejezetben vizsgálom a Budapesti Közlekedési Központ szervezeti felépítését, azon belül a menetirányító diszpécserok elhelyezkedését. Folyamatosan szűkíve a vizsgálati kört, eljutok a diszpécserok feladatköreinek, valamint információs kapcsolatainak bemutatásáig. Vizsgálom, hogy a menetirányító diszpécserok egyes feladatai milyen mértékig és hogyan automatizálhatóak. Ezek közül egyet kiemelve, a dolgozat további részében az operatív menetrend módosítással részletesen foglalkozom.

2.1. A BKK Zrt. szervezeti felépítése

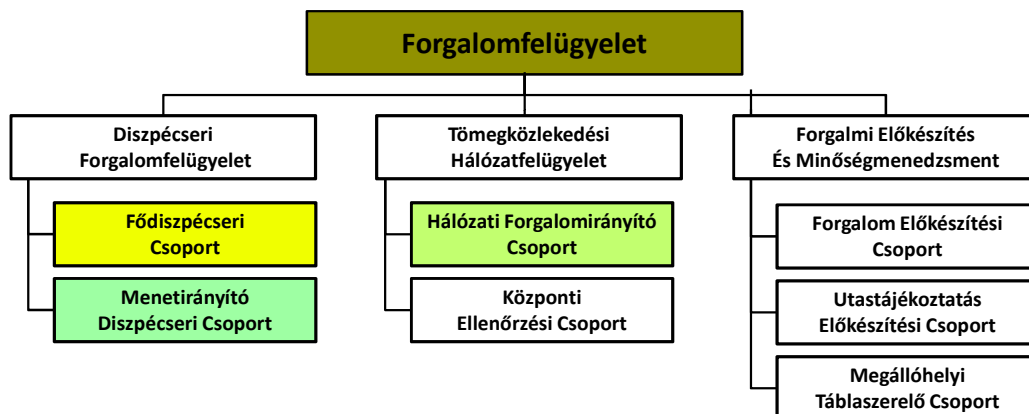
A Budapesti Közlekedési Központ 2010-ben jött létre a budapesti közlekedés új irányító szervezeteként. Kialakítására azért volt szükség, hogy összefogja és irányítsa a fővárosban működő közlekedési szervezeteket, és segítségével szétválassza a megrendelői és üzemeltetői feladatokat. A BKV Zrt. részleges integrációja során magához vonta a forgalomirányításhoz kapcsolódó feladatokat, köztük az informatikai projektek megvalósításának és üzemeltetésének felelősségét is. [9]

A forgalomirányításhoz kapcsolódó szervezetek, így - a dolgozatban tárgyalt témakör kulcsszereplői - a forgalomirányító diszpécserok csoportjai is átkerültek a BKK Zrt. irányítása alá: a Közlekedésszervezés és Fejlesztés csoportján, valamint a Tömegközlekedés divízióon belül a Forgalomfelügyelet osztályba, ahogyan azt az 1. és a 2. ábra szervezeti struktúrája mutatja.

Dolgozatomban a BKK. Zrt. rendszerén belül, a Forgalomfelügyeleti osztályhoz tartozó **menetirányító diszpécserok** munkájával foglalkozom részletesen.



1. ábra: A Budapesti Közlekedési Központ szervezeti felépítése [forrás: BKK Zrt.]



2. ábra: A Forgalomfelügyeleti osztály felépítése [forrás: BKK Zrt.]

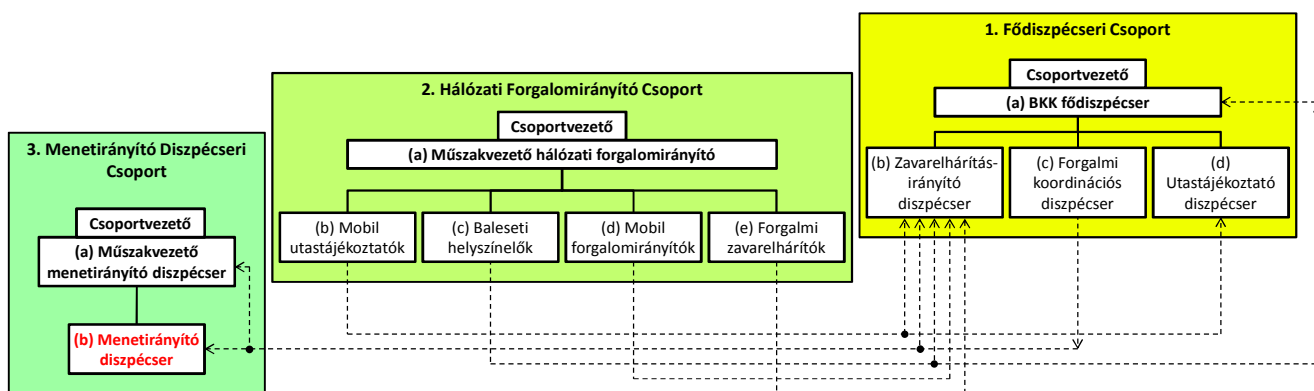
2.2. A Forgalomfelügyelet működése

2.2.1. A Forgalomfelügyelet szereplői

A Forgalomfelügyelet szervezeti hierarchiáján belül három diszpécseri csoportot különítünk el [2]:

- (1) **Fődiszpécseri Csoport:** koordinálja a forgalmat lebonyolító személyzet és a feladatok egymáshoz rendelését,
- (2) **Hálózati Forgalmirányító Csoport:** menetrendszerű forgalomtól történő eltérés esetén irányítási, forgalmi zavarelhárítási, balesethelyszínelési és hálózati utastájékoztatási feladatokat lát el,
- (3) **Menetirányító Diszpécseri Csoport:** a viszonylatok forgalmirányításáért felelős, a menetrendszerű forgalom lebonyolításának felügyeletét látja el.

A 3. ábrán szemléltetem az egyes diszpécseri csoportokon belüli feladatköröket, valamint az egyes munkakörök közötti jelentési kötelezettségeket. A diszpécseri csoportok szorosan együttműködve dolgoznak, a hierarchiát tekintve azonban mindannyian a Fődiszpécseri Csoportnak, azon belül is a BKK Fődiszpécsernek tartoznak jelentési kötelezettséggel. A menetirányító diszpécsernek elsősorban a műszakvezető menetirányító diszpécsernek, illetve a műszakvezetőn keresztül a zavarelhárítás-irányító diszpécsernek jelentenek. A szervezeti struktúrát folyamatos vonal, míg a köztük lévő kommunikációt szaggatott vonal jelöli. Az adott csoporton belüli kommunikációs irányok külön nem kerültek feltüntetésre, azok a hierarchiának megfelelően valósulnak meg.



3. ábra: A diszpécseri csoportok kapcsolata [forrás: BKK Zrt.]

Az **operatív menetrendkészítés** folyamata a **menetirányító diszpécser** munkájának része, így az ő feladatköreikkel a dolgozat további részében részletesen foglalkozom. Az egyes diszpécseri csoportok együttműködését tekintve azonban a Hálózati Forgalmirányító és a Fődiszpécseri Csoport feladatainak rövid ismertetése elengedhetetlen a teljes rendszer áttekintéséhez. Bemutatásuk sorrendje fentről-lefelé haladó hierarchiát is mutat. Ez alapján a Fődiszpécseri Csoport munkatársai rendelkeznek a legtöbb döntési joggal, míg a menetirányító diszpécser a saját hatáskörükbe vont viszonylatokért felelősek.

A *Fődiszpécseri Csoport* (1) tagjai közé tartozik [2]:

- *BKK Fődiszpécser* (a): A Tömegközlekedési Forgalmfelügyeleti Főosztály összes szolgálatban lévő munkavállalójának tevékenységét irányítja, rendkívüli helyzetben utasításokat ad, kapcsolatot tart a készenléti szervekkel, Sajtókommunikációs Irodával, BKK szóvivőjével, stb.

- *Zavarelhárítás-irányító diszpécser (b):* Integrálja a rendelkezésre álló kapacitásokat a forgalom-lebonyolítási feladatok végrehajtásához. Gondoskodik a zavar elhárítás megszervezéséről, forgalmi intézkedéseket hajt végre és utasításokat ad a végrehajtó szolgálatoknak.
- *Forgalmi koordinációs diszpécser (c):* A rendelkezésre álló forgalmi tartalék járművek közlekedtetését koordinálja: feladata a központi tartalékjárművek nyilvántartása és pótlások esetén azok forgalomba állítása.
- *Utastájékoztató diszpécser (d):* a forgalmi zavarok által érintett viszonylatok utastájékoztatási feladatait szervezi.

A *Hálózati Forgalomirányító Csoport (2)* munkatársai végzik a helyszíni feladatokat. Tagjai közé tartoznak a hálózati forgalomirányítók [2]:

- *Műszakvezető hálózati forgalomirányító (a):* a műszakjában dolgozó hálózati forgalomirányítók munkáját felügyeli, koordinálja.
- *Mobil utastájékoztatók (b):* az utastájékoztató diszpécser által kijelölt viszonylatok megállóhelyein, végállomásain tájékoztatják az utasokat a forgalmi változásokról.
- *Baleseti helyszínelők (c):* a zavarelhárítás-irányító diszpécser által megadott helyen történt balesetek, káresetek helyszíni vizsgálatát végzik.
- *Mobil forgalomirányítók (d):* a zavarelhárítás-irányító diszpécser által felügyeletük alá rendelt viszonylatok forgalmát bonyolítják.
- *Forgalmi zavarelhárítók (e):* a zavarelhárítás-irányító diszpécser által meghatározott viszonylatokat érintő forgalmi zavarok elhárítását operatíván szabályozzák.

A *Menetirányító Diszpécseri Csoport (3)* a menetrendszerű forgalom lebonyolításáért felelős. A diszpécseri csoport két részre bontható [2]:

- **Műszakvezető menetirányító diszpécser (a):** Összefogja, koordinálja és ellenőrzi a területéhez tartozó menetirányító diszpécser munkáját. Intézkedik a munkavégzés minőségének javítása érdekében (pl.: oktatási igény jelzése, viszonylatok operatív áthelyezése más forgalomirányítóhoz, stb.), valamint figyelemmel kíséri a területéhez rendelt viszonylatok általános forgalmi helyzetét. A tapasztalatok alapján javaslatot tesz a szükséges menetrendi módosításokra,

forgalomtechnikai változtatásokra. Szükség esetén konzultál a zavarelhárítás-irányító diszpécserrel.

- **Menetirányító diszpécser** (b): felügyelik és operatív módon szabályozzák a felügyeletük alá rendelt viszonylatok forgalmát. Módosítások esetén tájékoztatják a járművezetőket és a tabulátorkezelőket.

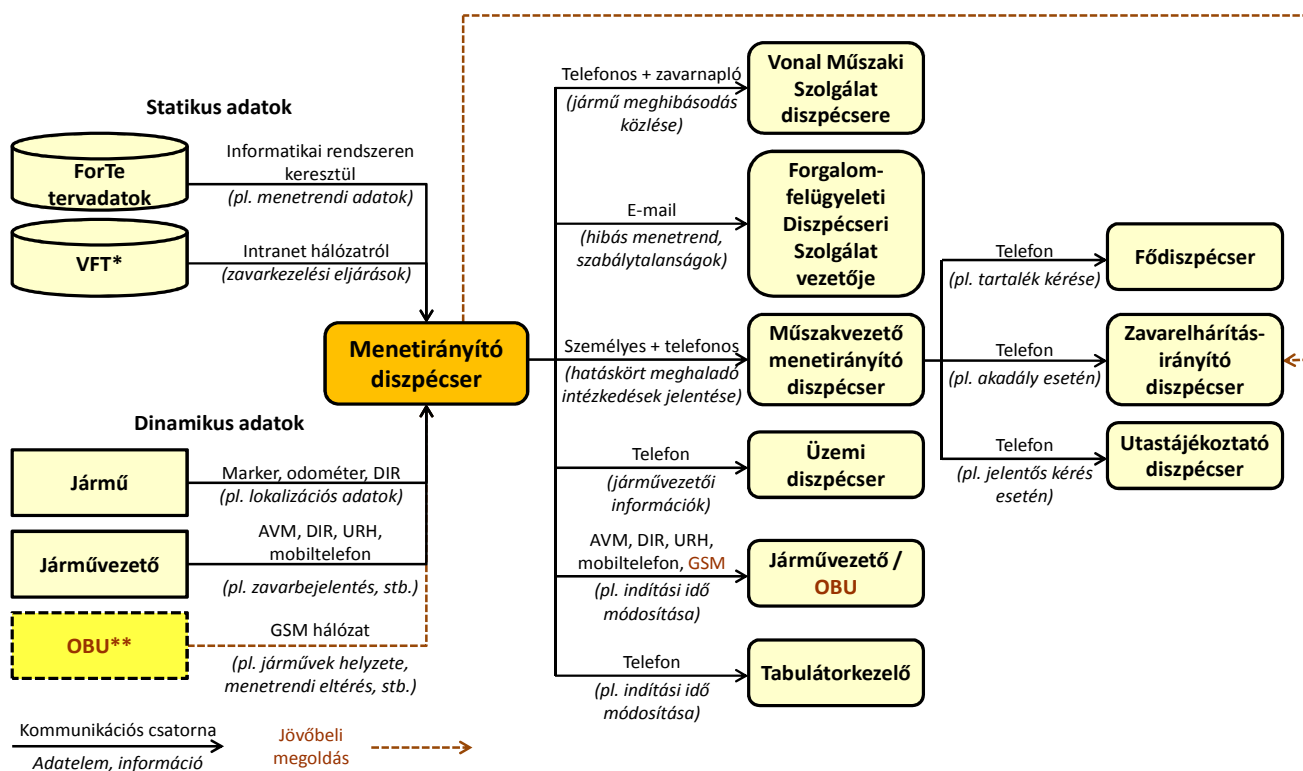
Feladataik:

1. Zavarmentes időszakban a **menetrendszerű közlekedés biztosítása**, a járművezetők munkavégzésének, a menetidő betartásának, valamint az illetékességébe utalt **viszonylatok menetrendszerűségének** ellenőrzése.
2. A felügyelt viszonylaton **kapcsolatot tart a járművezetőkkel**.
3. Szükség esetén javaslatot tesz a közösségi közlekedést befolyásoló külső és belső problémák megoldására (menetrendi, forgalomtechnikai javaslatok).
4. Forgalmi zavar esetén **intézkedik az zavarelhárításról**, felügyeli az előre tervezhető rendkívüli forgalmak tervszerű alakulását.
5. Hatáskörét meghaladó esetekben jelent az illetékes műszakvezető diszpécser felé. Zavar esetén együttműködik a bevont zavarelhárító egységekkel.
6. Ellátja a zavarokhoz kapcsolódó **adminisztratív tevékenységeket**: események rögzítése, naplózás.

A 4. ábrán rendszereztem a **menetirányító diszpécser információs és kommunikációs kapcsolatait**. Ezek meghatározása a téma szempontjából azért fontos, mert a menetirányító diszpécser számára jelenleg rendelkezésre álló adatok bemenő adatként szolgálnak a tervezendő algoritmus számára.

A menetrendi adatok, melyek alapján a diszpécser nyomon követi a járművek terv szerinti közlekedését, valamint a Viszonylatonkénti Forgalomirányítási Technológiák (a zavaresetekre kidolgozott intézkedési tervek) **statikus adatként** számítógépük hálózati meghajtóján állnak a diszpécser rendelkezésére. A helymeghatározás adatai, a járművezetőtől származó információk, valamint a FUTÁR rendszer bevezetésével a járműfedélzeti egységről érkező adatok **dinamikus adatként** a feltüntetett kommunikációs csatornákon keresztül érkeznek. A diszpécser az adatok feldolgozását követően az információkat az ábrán látható személyeknek továbbítja. A menetirányító diszpécser a Fődiszpécseri Csoport tagjaival közvetett kapcsolatban áll, a műszakvezető

menetirányító diszpécseren keresztül. A nyilakon szerepelnek a **kommunikációs megoldások** és dőlt betűkkel szedve az **átvitt adatok és információk**. A szaggatott vonalak a **jövőbeli megvalósítások** eredményeit mutatják, mely alapján a menetirányító diszpécser közvetlen kapcsolatban állhat a zavarelhárítás irányító diszpécserrel, valamint a diszpécseri központ és a jármű közötti kommunikáció a járműfedélzeti egység (OBU) segítségével történik.



*VFT: Viszonylatonkénti Forgalmirányítási Technológiák

** OBU: On Board Unit = járműfedélzeti egység

4. ábra: A menetirányító diszpécser információs és kommunikációs kapcsolatai [saját szerkesztés]

A menetirányító diszpécser feladatköreinek és információs kapcsolatainak ismeretében megvizsgáltam, hogy az elvégzendő tevékenységek közül melyek automatizálhatók. Az 1. táblázatban azokat a tevékenységeket gyűjtöttem össze, melyek számítógépes támogatása a diszpécser munkáját segítené. Ezt saját tapasztalataimra, a menetirányító diszpécserrel folytatott konzultációimra alapoztam. Előzetes vizsgálatot készítettem arról, hogy a tevékenység a jelenlegi technológiai fejlettség tekintetében automatizálható lenne-e, és ha igen, mik az automatizálás feltételei. Az előzetes vizsgálat eredménye a részletesebb kutatások eredményeként módosulhat. A lista nem teljes körű, számos tevékenység jövőbeli vizsgálata szükséges.

1. táblázat: A menetirányító diszpécseri tevékenységének automatizálási lehetőségei
[saját szerkesztés]

Tevékenység	Automatizálható?	Automatizálás feltételei
Menetidő betartatása (járművezetői hiba, pl.: sietés esetén jelentés küldése)	Igen	Terv-és tényadatok összehasonlítása, automatikus üzenetek küldése a menetrendi eltérésről.
Járművezető munkába állásának ellenőrzése	Igen	Járművezető bejelentkezése a járműfedélzeti egységen keresztül, üzenet küldése a diszpécser számára.
Diszpécser túlterheltségének figyelése	Igen	Automatikus jelentés a műszakvezető diszpécser felé feladatok elmulasztása esetén
Döntéstámogatás, beavatkozási teendők megjelenítése	Igen	Tevékenységlista összeállítása, zavartípusokhoz történő hozzárendelése
Módosítások esetén a munkaügyi szabályok betartásának ellenőrzése	Igen	Munkaügyi szabályok megsértésének számítógépes ellenőrzése
Operatív menetrend-módosítás	Részben	Menetrendkészítő algoritmus tervezése

A tevékenységlista néhány eleme, például a döntéstámogatási funkció egy egyszerű változata, vagy a munkaügyi szabályok ellenőrzése már fejlesztés alatt áll. Az operatív menetrend-módosítás automatizálására vonatkozó kutatásokat pedig jelen dolgozatban elkezdtem. Az automatizálhatóságra vonatkozó válasz megelőlegezi kutatási eredményeimet, miszerint a folyamat csak részben automatizálható. Ennek egyik oka, hogy a számítógép által kiszámolt új indítási időpontok nem kerülhetnek közvetlenül a járműfedélzeti egységre. Ez csak, emberi felülvizsgálat után, diszpécseri jóváhagyással történhet.

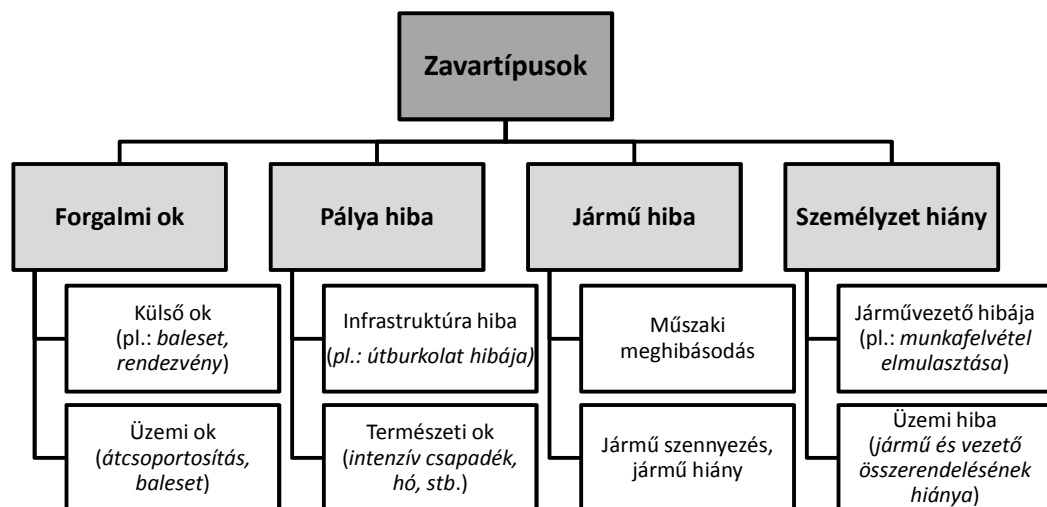
Egy **menetirányító diszpécser** napi munkája során számos döntést hoz. Egy adott szituációhoz tartozó **intézkedés során** nemcsak sokéves tapasztalatára, de a megadott **szabályokra is támaszkodik**. Ennek a keretrendszernek az átfogó ismertetését tartalmazza a következő fejezet, a lényeges elemekre fókuszálva. A szabályrendszer ismerete kulcsfontosságú a **döntéstámogató rendszer tervezése során**. A menetirányító diszpécsernek rendelkeznek ezzel az ismeretanyaggal, döntéseik során figyelembe veszik őket. A számítógép részére azonban ezeket a **szabályokat formalizálva kell átadni**. A szabályrendszerből kiindulva **matematikai modellek** megalkotásával építhető fel az algoritmus, mely alapján a döntéstámogató rendszer működhet.

3. A forgalomirányítás szabályrendszerének vizsgálata

A fejezetben tárgyalt szabályrendszer a BKK Zrt. által kiadott **Forgalom-lebonyolítás Működési Kódexe** alapján elsősorban a menetirányító diszpécserekre vonatkozó szabályokat, eljárásokat tartalmazza. A könnyebb átláthatóság kedvéért rendszereztem a **zavartípusokat**, valamint csoportosítást végeztem térbeli és időbeli kiterjedtségük alapján. A fejezetben a zavar típusától függően kitérek az **intézkedések módjára**, valamint a szabályrendszer alkalmazását a fejezet végén egy-egy példán keresztül szemléltetem. Az operatív menetrendkészítés automatizálása során ez a **döntési modell** kialakításánál fontos. A **zavar típusa** ugyanis az algoritmus **bemenő adata**, ez **határozza meg a zavarkezelési eljárást**, köztük azt is, hogy operatív menetrend-módosítás alkalmazható-e.

3.1. Zavarok csoportosítása

A forgalom-lebonyolítás során számos zavar keletkezhet. Forgalmi zavarnak nevezünk minden olyan eseményt, mely során a tervezett menetrend nem tartható, a tényleges és a tervezett indulási időpontok között eltérés keletkezik. A zavarelhárítás szempontjából fontos a zavar okának ismerete, hiszen - a menetrendi kötöttségek figyelembevételével együtt - meghatározza az elhárítás módját és ebből következtethető a zavar fennállásának várható időtartama is. Az 5. ábra csoportosítása alapján zavart 4 tényező okozhat: forgalmi ok, pálya hiba, jármű hiba és személyzet hiány.



5. ábra: A közösségi közlekedésben előforduló zavartípusok [saját szerkesztés]

Egy zavaresemény hatással van a forgalomban közlekedő járművekre. Okozhat

- menetrendi eltérést (késést), illetve
- járműkiesést.

A késések, illetve járműkiesések hatásának minimalizálása, a menetrendi indulási időpontok biztosítása a menetirányító diszpécser feladata. A forgalomirányítás szabályrendszere tartalmazza azokat az intézkedés típusokat, melyeket a diszpécser a körülményeknek megfelelően (zavar típusa, menetrend típusa, érintett járművek száma, stb.) alkalmazhat. Jelen fejezet ezeknek az intézkedéseknek az összefoglalását tartalmazza.

3.2. A menetirányító diszpécser feladatai késések kezelésekor

[2] A késések kezelésénél figyelembe kell venni a késés típusát (általános, részleges, szélsőséges), és azt is, hogy milyen menetrendi indulást befolyásol (kötött menetrend, nem kötött menetrend):

- az *általános késés* például közúti torlódás esetén keletkezik. Lefolyása előre nem látható időtartamú, a forgalom lelassulását eredményezi. Ilyenkor a járművek menetideje megnő és közben keringési sebességük lecsökken.
- a *részleges késés* a viszonylaton közlekedő járművek közül csak néhányat érint, ilyenkor a késést okozó akadályozó tényező elhárulása után az eredeti menetidővel is tudnak a járművek közlekedni. A részleges késést kiváltó ok lehet útakadály, természeti akadály, közúton folyó munkavégzés, stb.

A kétféle késés abban különbözik egymástól, hogy az általános késés a viszonylat minden járművét érinti, míg részleges késésnél csupán egy-egy járművet.

3.2.1. Általános késés kezelése

[2] Elsődleges cél a menetrendi indulások biztosítása, a menetrendszerű forgalom fenntartása. A menetirányító diszpécser ilyen esetben az alábbi késéskezelési megoldásokat alkalmazza, a munkaügyi szabályok betartása mellett:

Nem kötött menetrend esetén:

- Átcsoportosítás vagy tartalékjármű forgalomba állítása,
- Végállomási tartózkodási idők (kiegyenlítő idők) egy részének elvétele,

- Munkaközi pihenők csökkentése vagy áthelyezése,
- Késés időszakába eső váltások időpontjának megváltoztatása,
- Járművezetők túlmunka végzésének elrendelése,
- Felcserélt indulás: egy menetrend szerint később induló jármű korábbi indítása a pótlandó menet indítási idejével (ha a kiegyenlítő idők lehetővé teszik),
- Egy forduló kihagyása: csakis végső esetben, ha a késés a kiegyenlítő idők csökkentésével nem szüntethető meg.

A fent említett intézkedések esetén a menetirányító diszpécser kiszámítja az új, operatív indítási időpontokat. **Nem kötött menetrend esetén** elsődleges cél a **járművek egyenletes követésének** biztosítása. A végállomási indulási időközök nem haladhatják meg az alkalmazható követési időközöknél meghatározott időintervallumokat. Ezek mértékét mutatja a 2. táblázat. Az időintervallumok elérése esetén tartalékjármű beállításával, illetve más viszonylatról történő átcsoportosítással gondoskodik az indítási időközök csökkentéséről.

2. táblázat: Alkalmazható követési időközök operatív indításnál [forrás: BKK Zrt.]

Menetrendi követési időköz (perc)	Alkalmazható követési időköz (perc)	Nem alkalmazható követési időköz (perc)
1-2	1-5	Az alkalmazható tartományon kívüli indítási időközök
2-3	1-7	
3-4	2-9	
4-5	3-11	
5-6	3-13	
6-7	4-14	
7-8	5-15	
8-12	6-20	
12-14	7-20	

Kötött menetrend esetén:

Elsődleges fontosságú az indulás pontos teljesülése. Ennek érdekében a menetirányító diszpécser az alábbi késéskezelési megoldásokat alkalmazza:

- Pótlás (kötöttpályás járművek esetén akár autóbusszal történő pótlás)
- Felcserélt indulás: pl.: munkaközi pihenőről történő korábbi forgalomba állítás – a munkajogi szabályok betartása mellett.
- 50%-os szabály alkalmazása: késések kezelése esetén a megengedett tűrés 15 perces, illetve azt meghaladó menetrendi követés esetén a követési idő 50%-a

(pl.: 20 perces követés esetén a késő jármű 10 perc késéssel még elindítható, ha a pótlás semmi esetre sem oldható meg az eredeti indulási időre).

3.2.2. Szélsőséges mértékű késés kezelése

[2] A késést megszüntető fordulódő növelés

A vonal minden járművénél vagy a járművek többségénél egy-egy forduló kihagyására kerül sor, ha:

- a viszonylaton a késés mértéke eléri a fordulódő mértékét,
- a késés a kiegyenlítő idők csökkentésével már nem szüntethető meg, és
- a késés megtartása kismértékű utasforgalmi haszonnal bírna.

Ilyenkor a menetirányító diszpécser a zavarelhárítás-irányító diszpécser engedélyével a késést a fordulódő mértékéig növeli és a járművek által teljesített fordulók száma az előírthoz képest eggyel lecsökken.

Ebben a forgalmi helyzetben is elsődleges a kötött menetrendi indulások biztosítása.

3.2.3. A részleges késések kezelésének menete

A részleges késés elsősorban forgalmi akadály miatt keletkezik. Kezelésének menete hasonló az általános késés kezeléséhez. A menetirányító diszpécser - néhány különbséggel kiegészítve az általános késés szabályait - az alábbi késéskezelési megoldásokat alkalmazza:

- Az akadályhoz elsőként érkező jármű után a többi jármű zavart szakaszra történő behaladásának megakadályozása (pl.: más útvonalra tereléssel).
- Elsődleges a késve közlekedő járművek menetrendszerinti forgalmának helyreállítása, a viszonylat többi járművénél pedig az egyenletesség fenntartása.
- A forgalmi akadály megszűnése után az egyenletesség biztosítása érdekében:
 - üresen előre küldés,
 - egy-egy jármű csonkáztatása,
 - munkaközi pihenők mértékének csökkentése, áthelyezése,
 - végső esetben a következő menetrendi indulás bevarátása.
- Csonkáztatás: ha a viszonylaton biztosítható az utasok elszállításához szükséges férőhely, a csonkamenetek által nem érintett szakaszon is.

3.3. A menetirányító diszpécser feladatai járműkiesés kezelésekor

A járművek késése mellett számolni kell olyan eseményekkel is, melyek járműkiesést okoznak. Ez általában erőforrás hiányból (jármű meghibásodása, egyéb járműhiány vagy személyzet hiány) adódik:

Ha a kiesett jármű pótlása nem megoldható, az a viszonylat összes többi járművének indulását is befolyásolhatja. A menetirányító diszpécsernek a beavatkozásokat a menetrendi kööttségekre vonatkozó szabályok figyelembe vételével kell végeznie.

A) Ha a menetrendi követés nem éri el a 15 percet:

operatív indítás alkalmazása: a forgalomban maradó járművek indulási időpontjainak meghatározása az egyenletes követés fenntartása érdekében. A módosított indulási időpontokat a járművezetők részére addig kell meghatározni és kiadni mindkét végállomásra vonatkozóan, amíg a kiesett jármű újra forgalomba nem áll.

Az új indítási időpontok meghatározását a fejezet végén található esettanulmányban szemléltetem.

B) A menetrendi követés 10 perc vagy ritkább, és a viszonylaton a forgalomból kiesett járművek száma eléri a menetrendileg forgalomban lévő járműmennyiség 1/3-át:

- A viszonylatra járművet kell átcsoportosítani, hogy a hiányzó járművek aránya 1/3 alatt maradjon.
- Ha a menetrendi kööttségek alapján az előírt indulási időpontok biztosítása az irányadó, akkor a legfontosabb a forgalomból kiesett jármű pótlása (pl.: tartalék jármű felhasználása, vonali átcsoportosítás, sorrendiség felcserélése stb.).
- Ha a pótlás nem megoldható, a forgalomban maradó járművek a számukra menetrendileg előírt időpontokban, illetve a menetirányító diszpécser által kiadott utasítás szerint közlekednek.

C) A menetrendi követési idő eléri a 30 percet:

Vonali járműhiány esetén a pótlást a járműhiány keletkezési helyétől kell biztosítani. kivéve, ha az utasok elszállítása egy párhuzamos viszonylattal megoldható.

A szabályrendszer igen összetett, a különböző esetek a **zavar jellegétől, hatásától, a menetrend tulajdonságaitól** függően eltérő beavatkozási módokat kívánnak. A 3. táblázatban rendszereztem az egyes esetek okát, a forgalomirányítás során szem előtt tartandó irányelveket és a lehetséges beavatkozásokat. Ezek alapján eldönthető, hogy **operatív menetrend-módosítás alkalmazható-e** a zavar kezelése során

3. táblázat: A forgalomirányítás szabályrendszerének összefoglaló táblázata [saját szerkesztés]

Zavar hatása		Menetrend típusa	Zavar jellege	Forgalomirányítás célja	Intézkedés típusok
Késés	általános	Nem kötött	Forgalmi ok (pl. torlódás)	Menetrend szerinti forgalom visszaállítása Járműkövetés egyenletességének biztosítása	1) 2) 3) 4)
	részleges		Akadályoztatás (pl. útakadály)	Menetrend szerinti forgalom visszaállítása Követő jármű ne haladjon be a zavart szakaszra	1) 2) 3) 4) 5)
	szélsőséges		Forgalmi ok vagy akadályoztatás	Egyenletesség biztosítása Kötött menetrendi indulások biztosítása Kötött menetrendi időszakra a forgalom helyreállítása	1) 2) 3) 4) 6) 7)
	általános, részleges, szélsőséges	Kötött	Forgalmi ok vagy akadályoztatás	Kötött menetrendi indulások biztosítása	1) 2) 4) 8)
Járműkiesés	15 percnél sűrűbb követés	Járműhiány, Személyzet-hiány		Követési időközök egyenletességének biztosítása	1) 2) 3) 4)
	10 perces vagy ritkább követés és 1/3 szabály*			Hiányzó járművek aránya a menetrendileg forgalomban lévő járműszám 1/3-a alatt maradjon	1) 2)
	30 perces vagy ritkább követési idő			Első és utolsó indulási időpontok biztosítása Járműpótlás	9)

- 1) Tartalékjármű beállítása
 - 2) Átcsoportosítás
 - 3) Operatív menetrend-módosítás
 - 4) Indítási időpontok cseréje
 - 5) Akadály elhárulása után: üresen előre küldés, csonkáztatás, következő menetrendi indulás bevéartása
 - 6) Egy forduló kihagyása
 - 7) Megállóhelyen történő várakoztatás
 - 8) Végzős járművek túlmunka végzése
 - 9) Pótlás a járműhiány keletkezésének helyétől
- * 1/3 szabály: A kiesett járművek száma eléri a menetrendileg forgalomban lévő járműmennyiség 1/3-át

Egy zavaresemény bekövetkeztekor nemcsak azt a szempontot kell figyelembe venni, hogy a **zavar hatására késés vagy járműkiesés** következik-e be, hanem azt is, hogy milyen a zavar **térbeli, időbeli kiterjedése** és **hány járművet** érint. Ezekből az információkból következtethetünk a zavar elhárításának idejére. A 4. táblázatban

összefoglaltam a zavar események térbeli és időbeli kiterjedését, az érintett járművek számát és az ezek által meghatározott intézkedések típusát.

4. táblázat: Zavaresemények vetülete és az intézkedések típusai [saját szerkesztés]

Térbeliség (zavar keletkezésének helye)	Időbeliség (zavar elhárulásának időpontja)		Érintett járművek	Példák zavareseményre	Intézkedés
pontszerű (végállomáson, viszonylat-hálózaton)	előre látható	követési időn belül	egy jármű (zavaresemény által érintett jármű)	jármű időleges műszaki zavara (pl. ajtózárási probléma megállóhelyen)	menetrend betartásának ellenőrzése
		követési időn túl	több jármű (pl. feltorlódott járművek)	átmeneti útlezárás (pl. delegáció közlekedése)	mögöttes járművek lassítása, végállomási indulások módosítása, stb.
	előre nem látható		több jármű (pl. egy irányba közlekedő járművek)	forgalmi akadályt okozó zavar (pl. szabálytalan várakozás miatti útakadály)	pótlás, átcsoportosítás, indítási időpontok cseréje, csonkáztatás
vonali	nem látható (követési időn túl)		viszonylat összes járműve	forgalmi torlódás	végállomási indítási időpont módosítása, mögöttes járművek lassítása, stb.

A fentiekben összegyűjtött információk (zavar hatása, menetrend típusa, térbeli és időbeli kiterjedtsége, érintett járművek száma) segítenek **meghatározni a zavarkódot**, mely a döntéstámogató rendszer számára **bemenő információ**ként szolgál. Ezek alapján vizsgálja a lehetséges **beavatkozási módszereket**. Cél egy olyan lista összeállítása, melynél a **zavar körülményeit** megvizsgálva meghatározható egy **zavarkód**. Ezt a zavarkódot adja meg a diszpécser a döntéstámogató rendszer számára. Minden **zavarkódhoz** tartozik egy **intézkedés-csomag**, mely a lehetséges **beavatkozási módszereket** tartalmazza prioritás szerint. Az algoritmus ebből az intézkedés-csomagból választja ki a **megfelelő beavatkozást** az általa megvizsgált körülményekhez igazodva.

3.4. A forgalomirányítási szabályrendszer szemléltetése esettanulmányon keresztül

A szabályrendszer alkalmazása gyakorlati példákon keresztül jobban szemléltethető. Az alábbiakban három tipikus eset során vizsgálom a diszpécser beavatkozási döntéseit és azok hatását. A forgalmi helyzetet és a diszpécseri beavatkozásokat ábrával szemléltetem. Az első mintapélda az alábbiakban, kötött menetrendi indulás, valamint forgalmi torlódás kezelésére vonatkozó mintapélda a 2. számú mellékletben látható.

1. Járműkiesés műszaki meghibásodás miatt

A forgalmi helyzet bemutatása:

Az „A” és a „B” végállomás között az autóbuszok 10 perces követési időközzel, 20 perces menetidővel közlekednek. A fordulóidejük 60 perc, mely már tartalmazza a 2 végállomáson eltöltendő technológiai időket is. A viszonylaton 6 jármű közlekedik. A járművek nem kötött menetrend szerint közlekednek. A forgalmi helyzet bemutatása a 7. ábrán látható.

Zavar típusa:

Az „A” végállomásról a menetrendi adatok alapján 10:10 perckor induló jármű műszaki meghibásodás miatt nem tud elindulni.. A hiba elhárítása akár órákig is eltarthat. A végállomáson nem áll rendelkezésre olyan jármű, mely a menetet teljesíthetné. A viszonylaton közlekedő járművek száma 5-re csökken.

A zavar pontszerűen jelentkezik, fizikailag csupán egyetlen járművet érint, a követési időn belül nem szüntethető meg, de hatása a viszonylat összes járművének mozgását megváltoztatja.

Diszpécseri beavatkozás:

Alkalmazott szabályok:

- Mivel a menetrend nem kötött, ezért elsődleges a járművek egyenletes követési idejének biztosítása.
- A 2. táblázat alapján 10 perces követési időközöknél a 6-20 perces módosított követési idő alkalmazható.
- A fordulóidő/járművek száma képlet alapján: $60 \text{ perc} / 5 \text{ jármű} = 12 \text{ perces}$ követési időköz alkalmazható, mely a 2. táblázat alapján is megfelelő

Diszpécseri döntés:

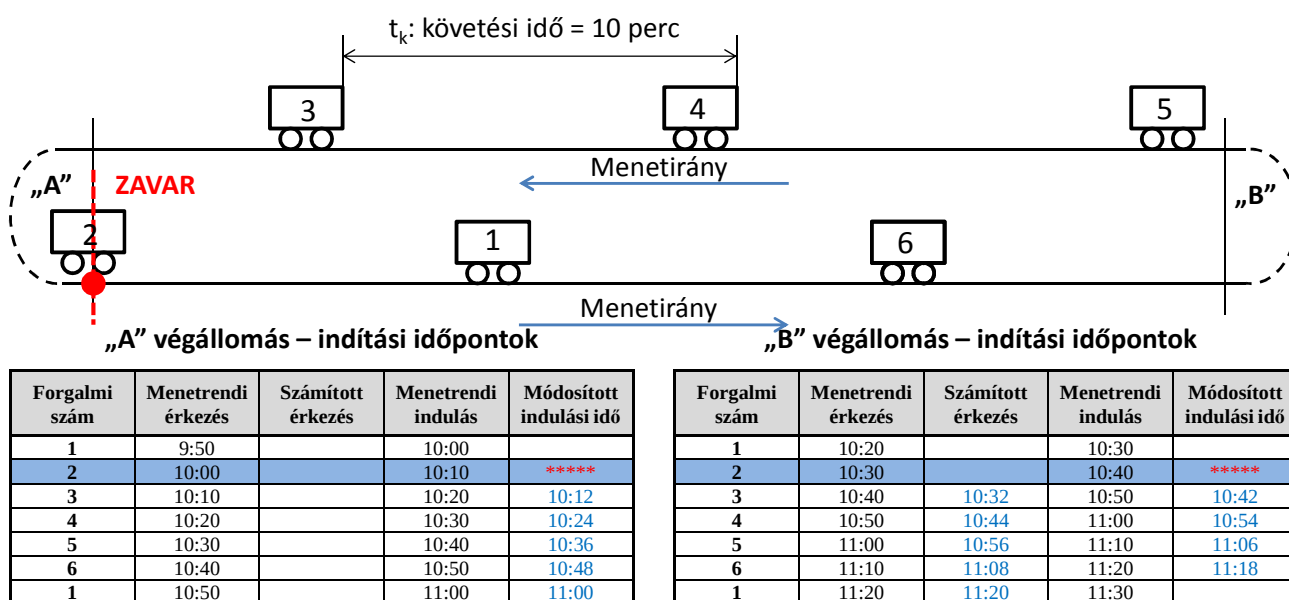
A diszpécser a 10:10 perces menetet kimaradt menetnek jelöli, majd az indítási időközök módosításával biztosítja az egyenletes követést.

Diszpécseri utasítás:

A forgalomban maradt járművek vezetőit tájékoztatja az új indítási időpontról.

A beavatkozás hatása:

A járművek követési ideje ugyan 2 perccel megnövekedett, azonban egyenletes, mely az utasok számára kevésbé érzékelhető, mint egy kimaradt menet esetén a 20 perces követési időköz (lásd: 10:10 perces indulást követően diszpécseri beavatkozás nélkül a következő jármű 10:20 perckor indulna).



6. ábra: 1. mintapélda – Járműkiesés műszaki meghibásodás miatt [saját szerkesztés]

4. A forgalomirányítás informatikai rendszerének vizsgálata

Az operatív menetrend-módosítás automatizálása egy döntéstámogató rendszer részét képezi. Fejlesztéséhez a **jelenleg működő informatikai rendszer vizsgálata** szükséges. Ennek eredményeként megállapítható, milyen **jelenlegi adatbázisokra** támaszkodhat az új rendszer, honnan kaphat adatokat és milyen, a működéshez elengedhetetlen **adatbázisok felvétele** szükséges. Megállapítható, hogy mely **modulokkal** kell **kapcsolatot kialakítani**, hogy a jelenleg működő informatikai rendszerbe integrálható legyen. A vizsgálat célja továbbá a menetirányító diszpécserek által használt informatikai rendszerek, az általuk végzett folyamatok elemzése.

4.1. A ForTe EFJ Indítási jegyzék működése

[13] A BKV Zrt. és BKK által közösen használt ForTe rendszer a budapesti közösségi közlekedés informatikai háttérét biztosítja. Az utasszállítással kapcsolatos forgalmi tevékenységek regisztrálhatók a rendszerben. A ForTe számos funkciója közül egy a forgalomirányítás tevékenységéhez köthető.

A menetirányító diszpécserek a **Forgalomirányítás modulon** belül az Elektronikus Forgalmi Jelentés (ForTe EFJ) felületét használják munkájuk során. Ennek része az **Indítási jegyzék** elnevezésű felület, – a rendszer központi eleme - amely nemcsak a járművek indítási időpontjait tartalmazza, hanem itt történik többek között az operatív menetrend-módosítás, a zavarok regisztrálása, a zavarnaplózás is. Az indítási jegyzék képernyő felülete a 3. számú mellékletben megtekinthető.

A ForTe Indítási jegyzéke számos funkció megvalósítására képes. Az összefoglalás során azokat a funkciókat ismertetem, melyek az operatív menetrend-módosítás szempontjából fontosak.

- **Viszonylatválasztás:** alapbeállításként a diszpécseri terminálhoz hozzárendelt viszonylatok láthatók. Bejelentkezéskor és kijelentkezéskor rendelkezni lehet más terminálok viszonylatainak ideiglenes átvételéről vagy átadásáról. Minden esetben egy – a kiválasztott – viszonylat indítási jegyzéke látható a képernyőn.

- *Forgalmi számok megjelenítése:* a forgalmi számok a végállomásról történő indulási sorrendben jelennek meg. Lehetőség van egyetlen forgalmi szám szűrésére is, ilyenkor a kiválasztott forgalmi szám összes menete egymás után jelenik meg a képernyőn.
- *Végállomások megjelenítése:* az indítási jegyzék fejlécében az adott viszonylat végállomásai láthatók. Alapbeállításként minden olyan végállomás oszlop megjelenik a képernyőn, ahol tervezett érkezések és indulások szerepelnek a végállomáshoz rendelve. Hosszabb viszonylatok esetén egy-egy köztes megálló is szerepelhet a listában.
- *Indítási időpontok megjelenítése:* a megállók nevei alatt alapbeállításként 4 oszlop látható, melyben időadatok szerepelnek:
 - o **Tervezett érkezés:** a jármű adott végállomásra (megállóhelyre) történő érkezési időpontja (menetrendi adat)
 - o **Tervezett indulás:** a jármű adott végállomásról (megállóhelyről) történő indulásának időpontja (menetrendi adat)
 - o **Számított érkezés:** az adott forgalmi szám előző tényleges indulásából és a menetidőből számított érkezés időpontja (abban az esetben érdekes, ha a forgalmi szám előző indulási időpontja valamilyen zavar miatt eltért a tervezett időponttól)
 - o **Tényleges indulás:** a jármű tényleges indulásának időpontja (a diszpécser által kiadott utasítás az indulási időpontról – operatíván módosított indulási időpont)

Az operatív menetrend-módosítás folyamatát segítő funkciók:

- *Tény időre rendezés:* az indítási időpont módosítása után a rendszer áthelyezi a menetet olyan pozícióba, mely megfelel a valós indulási idők sorrendjének. (ez például felcserélt indulásnál áttekinthetőbbé teszi a jegyzéket)
- *Visszaindulás azonnal:* az opció kiválasztásával a továbbindulás számításakor a rendszer a végállomásokon a technológiai várakozási idővel számol.
- *Tény indulási idő bejegyzése:* az „A” végállomáson történt menetrend módosítás hatására az „B” végállomáson kitöltődik a számított érkezési idő. Ha a „B” végállomásról van visszaindulás, akkor ENTER hatására az onnan történő indulási és az „A” végállomásra történő visszaérkezés ideje is kitöltődik.

- *Végállomáson eltöltött idő beállítása:* ez az érték beállítható technológiai minimumra (azonnali visszaindulás).
- *Időpont közlésének jelölése:* ha az új indulási időpontot a diszpécser már közölte a járművezetővel, a cellában az indítási idő színét változtatva ezt jelölheti.
- *Kimaradt menetek jelölése:* az oda- és visszaútra is kimaradt menetként jelöli, és az adott menet összes indulási időpontja is kimaradtnak lesz jelölve.

4.2. A forgalomirányítás informatikai rendszerének fejlesztése

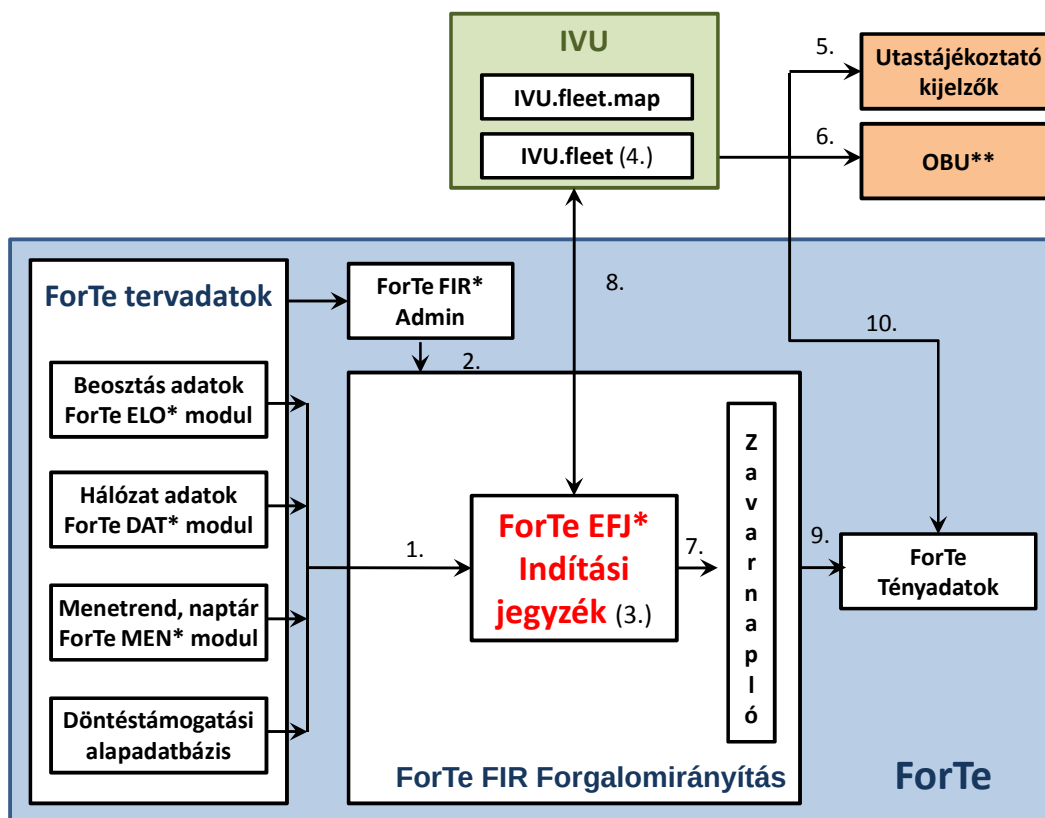
[3] A jelenlegi informatikai rendszer a **FUTÁR** projekt fejlesztései miatt **átalakuló**ban van, így a menetirányító diszpécsereket érintő Indítási jegyzék is. A forgalomirányítási és utastájékoztatási folyamatokat részben új beszerzésű – az IVU által fejlesztett - szoftverrel, részben a ForTe rendszer fejlesztésével kezelik a jövőben.

A menetirányító diszpécser munkájának informatikai hátterét tehát két rendszer - az IVU bizonyos moduljai és a ForTe eddig használt moduljai - közösen biztosítják majd. A két rendszer együttes, egyidejű használatát funkcionális integráció teszi lehetővé.

A diszpécser munkájuk során az általuk módosított adatokat mindkét rendszerben megtekinthetik majd, azonban beavatkozási lehetőségük csupán az egyik felületen, az egyik rendszerben lesz. Az **operatív menetrend-módosítás** szempontjából **megtekinteni a ForTe felületén, beavatkozni** azonban csak az **IVU.fleet** elnevezésű diszpécseri funkciókat tartalmazó **modulban** lehet majd.

A FUTÁR rendszer megvalósítása után a diszpécser a döntéseihez mindig a valós forgalmi helyzetet veheti alapul, azonban egyszerre több felület nyomonkövetése szükséges, mely tovább terheli a diszpécseret.

Az ForTe EFJ modul szerepe a továbbiakban is az Indítási jegyzék megjelenítése, valamint az egyes forgalomirányítási tevékenységek végrehajtása. A 7. ábra szemlélteti, hogy az EFJ modul és más, a FUTÁR részét képező és részét nem képező modulok között milyen kapcsolatok kerülnek kiépítésre, honnan nyeri a tervezett adatokat a ForTe EFJ megjelenítő képernyője, illetve mely további modulokba továbbítja az információkat.



*ForTe ELO, DAT, MEN, FIR, EFJ: ForTe (Forgalmi Tevékenységek) moduljainak elnevezései

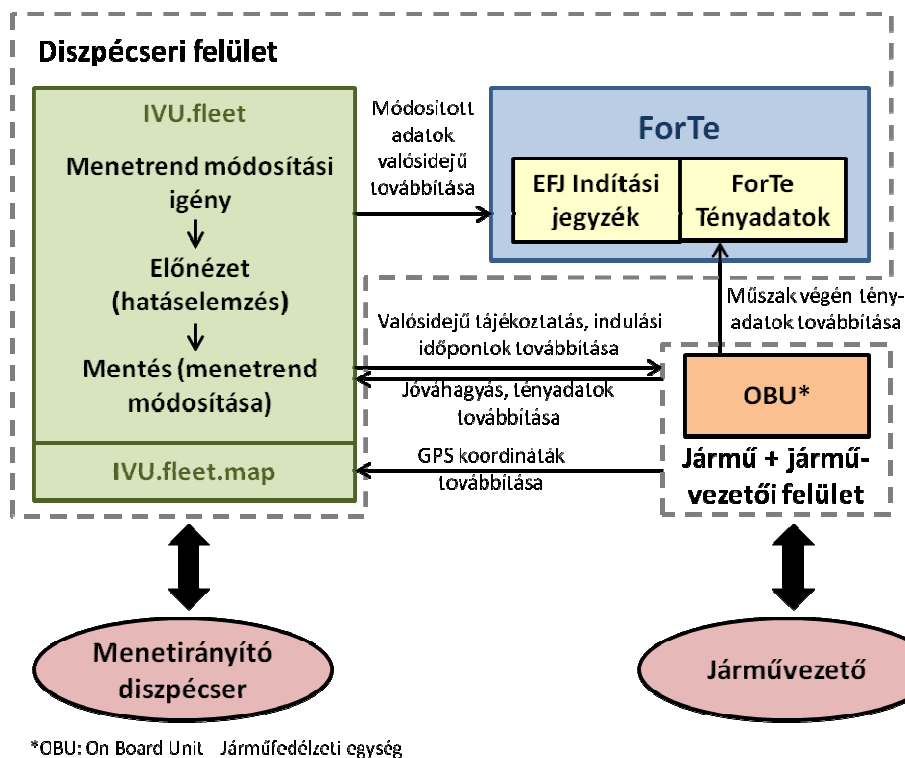
**OBU: On Board Unit = járműfedélzeti egység

7. ábra: A ForTe EFJ Indítási jegyzék adatáramlási folyamatai [forrás: T-Systems]

1. A ForTe rendszerben található Indítási jegyzékbe a tervezett adatok (viszonylat adatok, útvonal adatok, járművek adatai, beosztás, menetrendi adatok, a közlekedési naptár) a ForTe más moduljaiból érkeznek. Ezek a tervezett adatok, melyek az indítási jegyzékben nem módosíthatók. Az IVU.fleet rendszerbe tervinterfészekén keresztül kerülnek át.
2. A munkaállomások és viszonylatok összerendelése a Forgalmirányítás FIR admin funkcióban található.
3. A ForTe EFJ modulban található az Indítási jegyzék képernyő, ahol az operatív menetrend módosításra vonatkozóan csak megtekintésre van lehetőség.
4. Az Indítási jegyzéken történő módosítás az IVU.fleet rendszerén belül történik, ahol a módosított indulási időpontok bekerülnek a ForTe Indítási jegyzékébe
5. Az IVU.fleet-ben végrehajtott intézkedések - például az indítási időpontok módosításai - kiküldésre kerülnek az OBU-ra. Mindezt a menetirányító diszpécser jóváhagyása után.
6. Az utastájékoztató rendszerek kijelzőit is az IVU.fleet vezérli.

7. Részben az IVU.fleet-ből érkező adatok alapján, részben a ForTe EFJ-ben kezelt módosítások alapján a zavarnaplóba kerülnek az adatok.
8. A valós forgalmi adatok az IVU rendszereiből (IVU.fleet, IVU.fleet.map) érkeznek, részben valós időben, részben offline, előre beállított időpontokban. Az IVU.fleet-ben történt módosítások valós időben bekerülnek a ForTe EFJ-be.
9. ForTe EFJ felületén végrehajtott módosítások, közvetlenül elérhetőek a ForTe Tényadatok között, anélkül, hogy interfészeken keresztül az IVU.fleet rendszerből kerülnének küldésre.
10. A szolgálat végén az IVU-ban módosított adatok bekerülnek a ForTe Tényadatok adatbázisába.

Az operatív menetrend-módosítás az eddigi gyakorlattól eltérően nem a ForTe – EFJ Indítási jegyzékében, hanem az IVU.fleet-ben lesz kezelhető. A módosított adatokat azonban a ForTe számára is elküldi az IVU. A könnyebb érthetőség érdekében az alábbi, 8. ábrán illusztrált folyamat szemlélteti az operatív menetrend-módosítás lépéseit, a felhasználói beavatkozások és az informatikai rendszerben történő változások alapján.



8. ábra: Az adatáramlás modellje operatív menetrend-módosítás folyamata során [saját szerkesztés]

1. Zavar hatására (pl.: járműkiesés, forgalmi torlódás) a diszpécser a tervezett menetrendi indulások módosításáról dönt.
2. A diszpécser kitölti az IVU.fleet indítási jegyzékében a *Módosított terv indulás* mezőt. Egyszerre több forgalmi számra is kitölthet több indulási időpontot, de mindig csak az adott menet végállomására vonatkozóan.
3. A módosított indulási időpont kitöltése után az Előnézet parancsgommbal megjelenítheti a változtatások hatását (pl.: ha a menet eltolása úgy történik meg, hogy a jármű következő menetét nem tudja teljesíteni, mivel azt nem módosította a diszpécser, ebben az esetben tájékozódhat róla). Az Előnézet elfogadása a Mentés gommbal történik, ekkor a módosított adatokat elküldi az OBU-ra, valamint a ForTe EFJ Indítási jegyzékébe. A módosított indítási időpont a diszpécser felületén ekkor piros színnel jelenik meg.
4. Járművezető érzékeli a módosított indulási időpontot és azt elfogadja az OBU-n. A diszpécseri felületen a módosított indítási időpont feketére változik. Ha mindezt a járművezető nem teszi meg, a menetirányító diszpécser érzékeli, hogy a járművezető nem igazolta vissza a módosítást. A rendszer ugyanis egy adott pillanatban megvizsgálja, hogy a járművezető visszaigazolta-e a kiküldött utasítást, ha nem, akkor az indítási időpont a diszpécseri felületen továbbra is piros színnel jelenik meg.
5. Az IVU.fleet tényindulási időadata kitöltődik az IVU indítási jegyzékében. A tényadatok a GPS-es kapcsolat miatt minden megállóhelyre automatikusan töltődnek az IVU Indítási jegyzékébe, illetve a teljes útvonalra vonatkozó adatok pedig az IVU térképre. A járművek így valós időben nyomon követhetők.
6. A módosított indítási időpont bekerül a ForTe Tényadatokba a szolgálat végén. A nagy mennyiségű adatforgalom miatt ezek az adatok csak a jármű telephelyre érkezése után töltődnek le az OBU-ról a ForTe adatbázisába.

4.3. Az IVU.fleet Indítási jegyzék működése

[3] A FUTÁR bevezetése után az új informatikai rendszerben a menetirányító diszpécser az IVU.fleet felületén található indítási jegyzékben módosíthatja az indulási időket. Az új képernyőképen az operatív menetrend-módosítás szempontjából releváns adatok továbbra is megjelennek, csupán a megjelenítés formája változik. Ezek az adatok láthatók az 5. táblázatban.

5. táblázat Az IVU.fleet felületén megjelenő Indítási jegyzék [forrás: T-Systems]

Viszonylat szám 103	Induló végállomás - Kelenföldi pályaudvar							Fogadó végállomás – Népliget						
Forgalmi szám	Megelőző tevékenység	Tervezett érkezés	Számított érkezés	Tervezett indulás	Módosított terv indulás	Tényleges indulás	Követő tevékenység	Megelőző tevékenység	Tervezett érkezés	Számított érkezés	Tervezett indulás	Módosított terv indulás	Tényleges indulás	Követő tevékenység
1xxxxxx1	GF	7:38		7:40	7:42	7:42			8:15	8:17	8:20	8:25	8:25	
1xxxxxx2		7:15	7:28	7:50	7:52	7:52			8:25	8:27	8:25	8:35	8:35	FG
1xxxxxx3				8:00		8:00			8:35	8:35	8:40		8:40	PIH

A menetirányító diszpécser egy viszonylat (az 5. táblázatban a 103-as viszonylat) összes forgalmi számához tartozó meneteket látja a táblázat fejlécében az indító és fogadó végállomásokkal. A táblázat belsejében a végállomásra vonatkozó időadatok láthatóak. A színessel jelölt oszlopok azokat az időadatokat jelölik, melyek diszpécseri módosításra töltődnek ki.

- Megelőző tevékenység: adott forgalmi számhoz tartozó indítás előtti tevékenység, mely az indítás előtt történt. (pl. GF: garázból forgalomba)
- Tervezett érkezés: a jármű adott végállomásra történő érkezési időpontja (menetrendi adat)
- Számított érkezés: a szoftver által kiszámolt várható érkezési időpont, tervezett érkezés esetén ez a cella üresen marad. Ha a számított érkezés eltér a tervezett érkezési időponttól, az befolyásolhatja a tervezett indulási időpontot. Ilyen esetben a menetirányító diszpécser beavatkozása szükséges.
- Tervezett indulás: a jármű adott végállomásról történő indulásának időpontja (menetrendi adat)
- Módosított terv indulás: diszpécser által kiadott indulási időpont, abban az esetben, ha a tervezett indulási időpontban a jármű nem tud elindulni.
- Tényleges indulás: járműről származó adat, mely megmutatja, hogy mikor indult el a jármű
- Követő tevékenység: adott forgalmi számhoz tartozó indítás utáni tevékenység, mely az indítás után történt. (pl. FG: forgalomból garázsba)

Az operatív menetrend-módosítás szempontjából fontos kiemelni, hogy a FUTÁR bevezetésével a diszpécserek **valós idejű adatokra** támaszkodva végezhetik feladataikat, mely pontosabb munkavégzést tesz lehetővé. Bár megmarad a beszéd alapú kommunikáció a járművezetőkkel, azonban könnyebbé teszi, hogy a **menetrendi eltéréseket** a diszpécser is nyomon követheti a képernyőn. Zavar esetén az időben elkezdett beavatkozások hatására a nagyobb problémák elkerülhetők.

Valós idejű adatokkal a döntéstámogató rendszer működése is **hatékonyabb**. Az operatív menetrendkészítés automatizálása éppen ezért a **FUTÁR bevezetésével** válik aktuálissá. A járművekről érkező adatoknak megfelelően a számítógép előre megtervezheti a beavatkozásokat úgy, hogy a memóriájában tárolt szabályrendszer ne sérüljön.

A menetirányító diszpécseres kommunikációs folyamatainak, a forgalomirányítás szabályrendszerének és az alkalmazott informatikai rendszernek az ismeretében az operatív menetrend-módosítás automatizálásának vizsgálatához szükséges információk rendelkezésre állnak. A következő fejezetben az automatizálás bevezetésének lépéseit vizsgálom az előzőekben leírt vizsgálati eredményekre alapozva.

5. Az operatív menetrendkészítés automatizálása

Jelen fejezetben az operatív menetrendkészítés automatizálásával kapcsolatos **vizsgálataim eredményét** ismertetem. A korábban megismert forgalomirányítási szabályoknak és az informatikai rendszernek megfelelően elkészítettem egy olyan **modellt**, mely az automatizálást végző **algorithmus tervezésének** kiindulási alapja lehet. Az operatív menetrendkészítés automatizálása a döntéstámogatási rendszer korábban megismert lépcsős kialakításának 3. és 5. szolgáltatási szintjében játszik szerepet. A szolgáltatási szintek fejlesztésének fokozatait a 6. táblázatban foglaltam össze. A 3. szinten a döntéstámogatási rendszer csupán egy adott időpillanatra vonatkozóan határozza meg a beavatkozásokat. A legmagasabb szolgáltatási szint azonban valós idejű adatokkal dolgozik, folyamatosan újrakalkulálva az új indítási időpontokat. A szükséges beavatkozásokat a valós forgalmi körülményekhez igazítja. A FUTÁR projekt kialakítása során az 1. szolgáltatási szint valósul meg. Ez a szolgáltatási szint az operatív menetrend-módosításra vonatkozó funkciókat nem tartalmaz. Dolgozatomban a **döntéstámogatási rendszer** továbbfejlesztésére, az **5. szint megvalósítására** vonatkozó kutatásokat kezdtem el.

6. táblázat: Döntéstámogatási alrendszer szolgáltatási szintjei és funkciói [saját szerkesztés]

Döntéstámogatási alrendszer				
Szolgáltatási szint	Megvalósított funkciók			Forgalmi változások követése
	Check-list	Forgalom-lebonyolítási eljárások	Operatív menetrend-módosítás	Valós idejű adatok figyelembe vétele?
1. szint	✓	-	-	-
2. szint	✓	✓	-	-
3. szint	✓	✓	✓	-
4. szint	✓	✓	-	✓
5. szint	✓	✓	✓	✓

A feladat összetettségéből, a budapesti közlekedés komplexitásából adódóan az operatív menetrend-módosításra vonatkozó vizsgálatok során az alábbi **lehatárolásokkal** dolgoztam:

- csak autóbuszos közlekedésre vizsgáltam a megoldási lehetőségeket,
- egy viszonylaton fellépő zavar esetét vizsgáltam,
- végállomási indítási időpontok operatív módosítását vizsgáltam,

- átszállási kapcsolatok teljesülését nem vizsgáltam,
- a betétjáratokat és a hangolt viszonylatokat nem vizsgáltam.

Az operatív menetrend-módosításra vonatkozó megállapításaim és eredményeim alapjául a 3. fejezetben és a 2. számú mellékletben megismert tipikus példaesetek szolgáltak.

A döntéstámogató rendszer **modelljének** felállítása során figyelembe vettem a rendszertől **elvárt követelményeket**:

- hibamentes működés: ne sértse meg a munkaügyi szabályokat, és csak a ténylegesen rendelkezésre álló erőforrásokból gazdálkodjon,
- zavar típusától függő intézkedés,
- menetrend típusának (kötött, nem kötött) figyelembe vétele,
- érkezési időadatok változása esetén az új indítási időpontok újraszámolása, igazodás az aktuális forgalmi körülményekhez,
- korábban módosított indulási időpontok felülírása újabb zavar esetén,
- OBU-ra küldés csak a diszpécser jóváhagyásával,
- naplózás.

Az elvárt működés mellett figyelembe vettem a jelenleg alkalmazott **rendszerek sajátosságait**. Az újonnan felépített döntéstámogató rendszernek ezekhez kell **illeszkednie**:

- 1) Vizsgáltam a menetirányító diszpécserek **információs és kommunikációs kapcsolatait**. Ebből az eredményből következtettem arra, hogy a menetirányító diszpécserek munkájuk során kitől kapnak és kinek adnak információkat. A számítógépes támogatottság esetén az informatikai rendszernek kezelnie kell ezeket a kommunikációs kapcsolatokat. Például a járművezetők informálása az OBU-n keresztül történik. Olyan formában kell előállítania a kimenő adatokat, melyek az OBU-ra küldhetők.
- 2) Vizsgáltam a **forgalomirányítás szabályrendszerét**, mely a döntéstámogató rendszer működésének alapja. Ez szabja meg ugyanis az **algorithmus belső működését**, azt, hogy a bejövő adatokat figyelembe véve mi alapján számolja ki az új indítási időpontokat. Az algorithmus belső működéséhez a szabályrendszer programozása szükséges.

- 3) Vizsgáltam a jelenlegi **informatikai rendszer** működését, melyhez a döntéstámogató rendszert csatolni kell. Ez alapján következtettem arra is, hogy az algoritmus a **ForTe és az IVU mely moduljaiból** és milyen adatokat nyerhet.

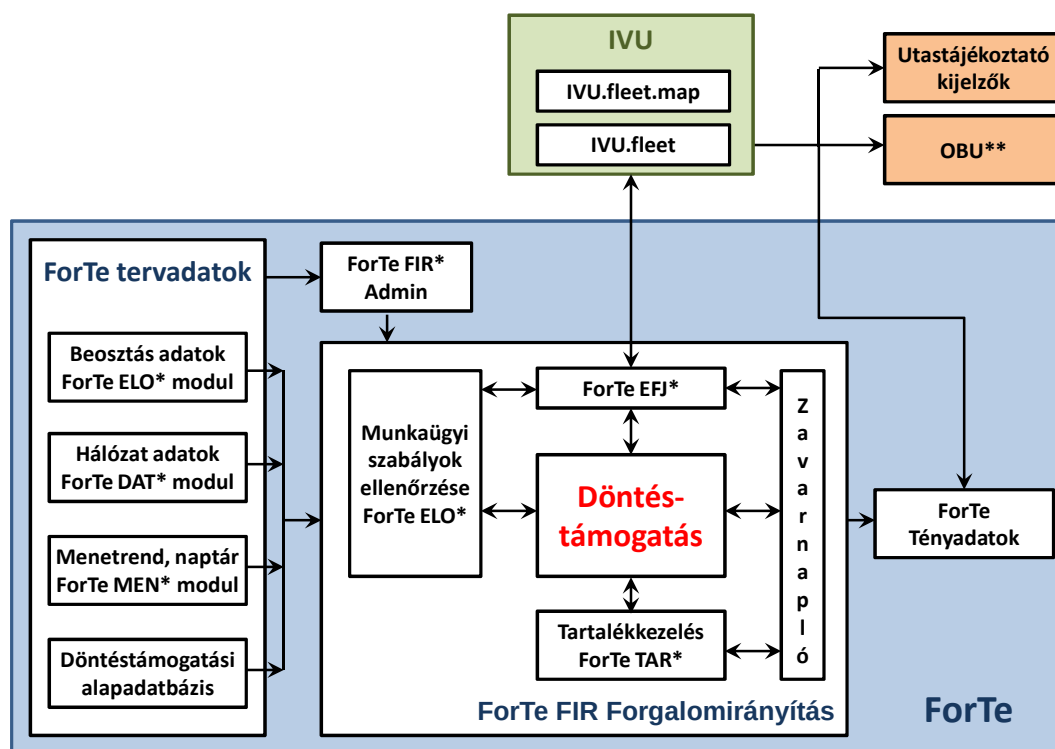
Az előző fejezetekben vizsgáltak alapján elkészítettem az **operatív menetrend-módosítás automatizálásához szükséges rendszer vázát**, mely az alábbiakat tartalmazza:

- a döntéstámogató alrendszer kapcsolódását a jelenleg alkalmazott vagy fejlesztés alatt álló modulokhoz (ForTe és IVU oldalon),
- az algoritmus bemenő és kimenő adatainak meghatározását,
- az algoritmus belső működését, az új indítási időpontok meghatározásához szükséges folyamatábrát,
- a működési modell szemléltetését példák alapján,
- egyes példák matematikai modelljét.

A fejezet további részében a kidolgozott megoldásokat részletesen ismertetem.

5.1 A döntéstámogatói rendszer bevezetése informatikai szempontból

A döntéstámogatói rendszer tervezése során meghatároztam azokat a **jelenleg alkalmazott** (ForTe rendszer moduljai), valamint a **fejlesztés alatt álló adatbázisokat** (IVU moduljai, valamint a ForTe bizonyos moduljai), melyek a döntéstámogatói rendszer működéséhez szükségesek. A tervezett döntéstámogatói alrendszert ebbe a környezetbe illesztettem. A modulokkal kialakított kapcsolat biztosítja a működéséhez szükséges **input adatokat**. Az operatív menetrend-módosítást végző algoritmus a döntéstámogatói modulon belül helyezkedne el. A tervezett döntéstámogatói alrendszer **kapcsolatban áll a ForTe bizonyos moduljaival**, valamint **az IVU-val** is. Az adatokat is ezekből a rendszerekből kapja és ezeknek a rendszereknek továbbítja. Megvizsgáltam, hogy az algoritmus működéséhez milyen modulokkal kell kapcsolatot kiépíteni. Ezt ábrázoltam a 9. ábrán.



*ForTe ELO, DAT, MEN, FIR, EFJ, TAR: ForTe (Forgalmi Tevékenységek) moduljainak elnevezései

**OBU: On Board Unit = járműfedélzeti egység

9. ábra: A döntéstámogatási rendszer kapcsolata az IVU és a ForTe más moduljaival

[saját szerkesztés]

ForTe tervadatok: innen érkeznek a beosztással, hálózattal, menetrenddel kapcsolatos adatok, valamint a döntéstámogatási alapadatbázis adatai, mely tartalmazza a viszonylatonkénti forgalomirányítási technológiákat. Ez az alapadatbázis kibővíthető olyan adatokkal, amelyek kifejezetten az operatív menetrend-módosításhoz szükségesek. Ilyen például a forgalomirányítás szabályrendszere, korábbi forgalomirányítási megoldások és a historikus forgalmi adatok

Munkaügyi szabályok ellenőrzése: ez a modul tartalmazza a járművezetőkre vonatkozó munkaügyi szabályokat, melyeket a menetrend módosítás során az algoritmusnak ellenőriznie kell.

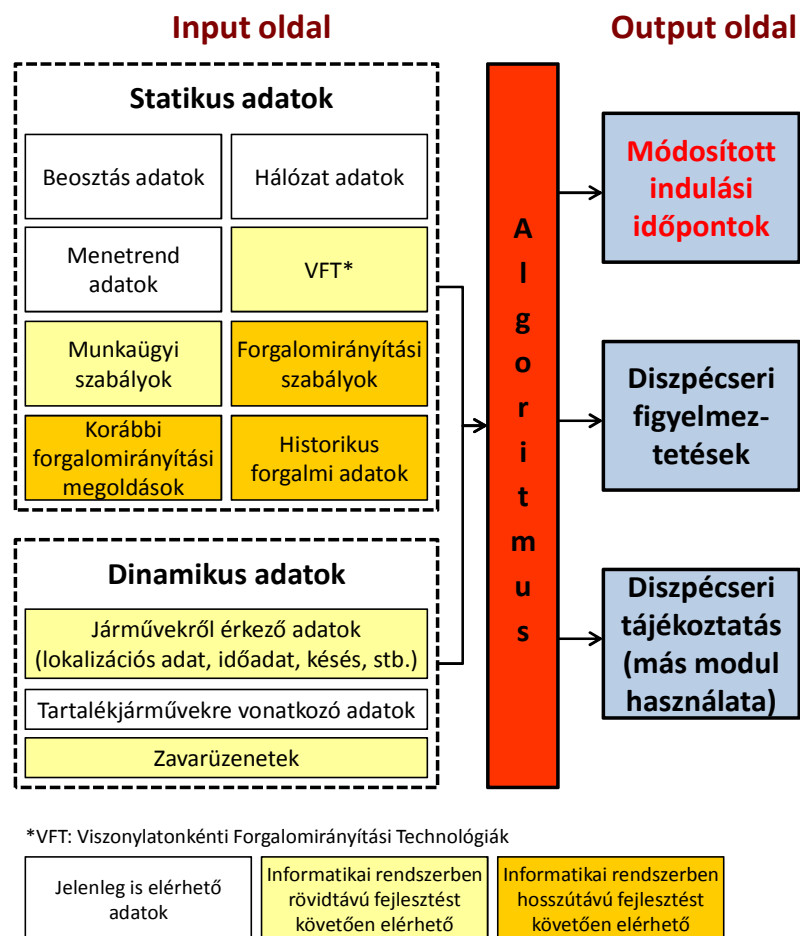
Tartalékkezelés: a tartalékjárművekre vonatkozóan nyújt információkat. A zavarok kezelése során sok esetben megoldásként szolgálhat a tartalékjárművek forgalomba állítása. Ilyen esetben a tartalékokra vonatkozó adatbázis nyújt segítséget a megfelelő jármű kiválasztásánál. Tartalékjármű hiánya esetén bizonyos esetekben (pl. nem kötött menetrendi indulások során) alkalmazható az operatív menetrend-módosítás.

Zavarnapló: a járművekről érkező zavarüzenetek a zavarnaplóhoz kapcsolhatók. A zavarüzenetek információiból a diszpécser megadja a zavarkódot, mely az algoritmus működésének alapja. A zavarkód segítségével meghatározhatók az alkalmazható

zavarelhárítási megoldások. Ehhez egy olyan lista definiálása szükséges, mely minden zavaresethez priorizálva tartalmazza az alkalmazott zavarkezelési eljárásokat (elsődlegesen, másodlagosan, harmadlagosan alkalmazott, stb.). A rendszer ez alapján vizsgálja, hogy az elsődleges zavarkezelési eljárás megvalósítható-e. Ha nem, akkor tovább keresi a megoldást.

ForTe EFJ: az ForTe ezen modulja tartalmazza a tervezett menetrendi indulásokat valamint zavar esetén az IVU.fleet-ből érkező valós idejű adatokat (pl: jármű késése). Ezekből az időadatokból számítja az algoritmus az új indítási időpontokat. A legmagasabb szolgáltatási szint tervezésekor különösen fontos, hogy a rendszer a valós idejű adatokkal számoljon.

A 9. ábra a döntéstámogatási alrendszer adatbázis kapcsolatait mutatta. A 10. ábrán összegyűjtöttem, hogy ezekből az adatbázisokból milyen adatokat használ fel az algoritmus. Működése során ezek szolgálnak bemenő adatként, melyekből az ábrán látható kimenő információkat határozza meg.



10. ábra: Az operatív menetrend-módosítást végző algoritmus bemenő és kimenő adatai
[saját szerkesztés]

Bemenő (input) adatok:

A bemenő adatok meghatározásakor elkülönítettem statikus és dinamikus adatokat.

Statikus adatok:

Adatbázisban tárolt állandó adatok, módosításuk nem valós időben történik. Az ábrán halvány sárgával jelölt adatok adatbázisba történő felvétele jelenleg fejlesztés alatt áll. A narancssárgával feltüntetett statikus adatok pedig az operatív menetrend-módosításhoz, az algoritmus működéséhez szükségesek:

- Forgalomirányítási szabályok: a szabályrendszer, mely alapján jelenleg a menetirányító diszpécserok dolgoznak, ennek programozása a feladat.
- Korábbi forgalomirányítási megoldások: a mesterséges intelligencia kutatások alapján a gépek képesek az általuk vagy a menetirányító diszpécserok által manuálisan, helyesen megoldott feladatok eltárolására és ezek alkalmazására hasonló esetekben. Ez az ún. induktív tanulás funkció, mely során a tanulóprogram a példaesetektől általános szabályokat állít fel. Ezekben az esetekben megfelelő formalizmus felhasználásával leírt példákat kap a rendszer, ezekből következtet a szabályokra [8]
- Historikus forgalmi adatok: forgalmi torlódás esetén, melynek lefolyása bizonytalan, a járművek menetideje, és érkezési ideje kiszámíthatatlan, historikus adatokból következtethet a rendszer a várható érkezési időpontokra.

Dinamikus adatok:

- Járművekről érkező adatok: Folyamatosan változó, a forgalmi körülményekhez igazodó adatok. GPS kapcsolat segítségével a járművek pontos pozícióját meghatározva a menetrendi eltérések detektálhatók.
- Zavarüzenetek: menetrendi eltérés esetén zavarüzenetek érkeznek, melyek a zavarnaplóhoz kapcsolhatók. A zavarüzenetek elemzésének köszönhetően meghatározható a zavarkód, mely az algoritmus működésének kiindulása.
- Tartalékjárművekre vonatkozó adatok: dinamikus adatként kezelendő, mivel a járművek listája folyamatosan frissül, attól függően, hogy mely járművek állnak még rendelkezésre, és melyek vannak forgalomban.

Kimenő (output) oldal

- Módosított indulási időpontok: az algoritmus feladata alapvetően az új indítási időpontok meghatározása. Ezeket az indítási időpontokat matematikai módszerekkel határozza meg.
- Diszpécseri figyelmeztetések: Előfordulhat, hogy az algoritmus olyan megoldást javasol, melynél pl. a járművezető túlórátatása szükséges. Ilyen esetekben figyelmeztetést küld a diszpécsernek, aki jóváhagyja, vagy elutasítja az így kiszámított megoldást. Elutasítás esetén a diszpécser változtathatja a bemenő paraméterek és újabb megoldást várhat a döntéstámogató rendszertől.
- Diszpécseri tájékoztatás más modul használatára: lehetségesek olyan esetek, melyeknél nem szükséges vagy tilos az indítási időpontok módosítása (pl. kötött menetrend esetén). Ebben az esetben a rendszer felismeri, hogy az operatív menetrend-módosítás nem alkalmazható, így a feladat ezzel a modullal nem oldható meg. Tájékoztató üzenetet küld a diszpécser számára és átadja a feladat megoldását a döntéstámogató rendszer más moduljának.

5.2. Az operatív menetrendkészítés automatizálásának működési modellje

A döntéstámogató rendszer operatív menetrend-módosítást végző részének fejlesztése során egy olyan vizsgálati struktúra felállítása a cél, melyet leprogramozva, a számítógép az **input adatokból** meg tudja határozni a megoldást, vagyis az **új indítási időpontokat**. Ez a **döntési vagy működési modell**. Ehhez vagy egyértelmű, matematikai módszerekkel kiszámított megoldások definiálása szükséges vagy a mesterséges intelligencia egyik ágának, a gépi tanulásnak az alkalmazása. Gépi tanulás során a döntéstámogató rendszer szabályokra, jellemzőkre következtet korábban helyesen - a menetirányító diszpécsernek vagy a számítógép által - megoldott példákon keresztül. [8]

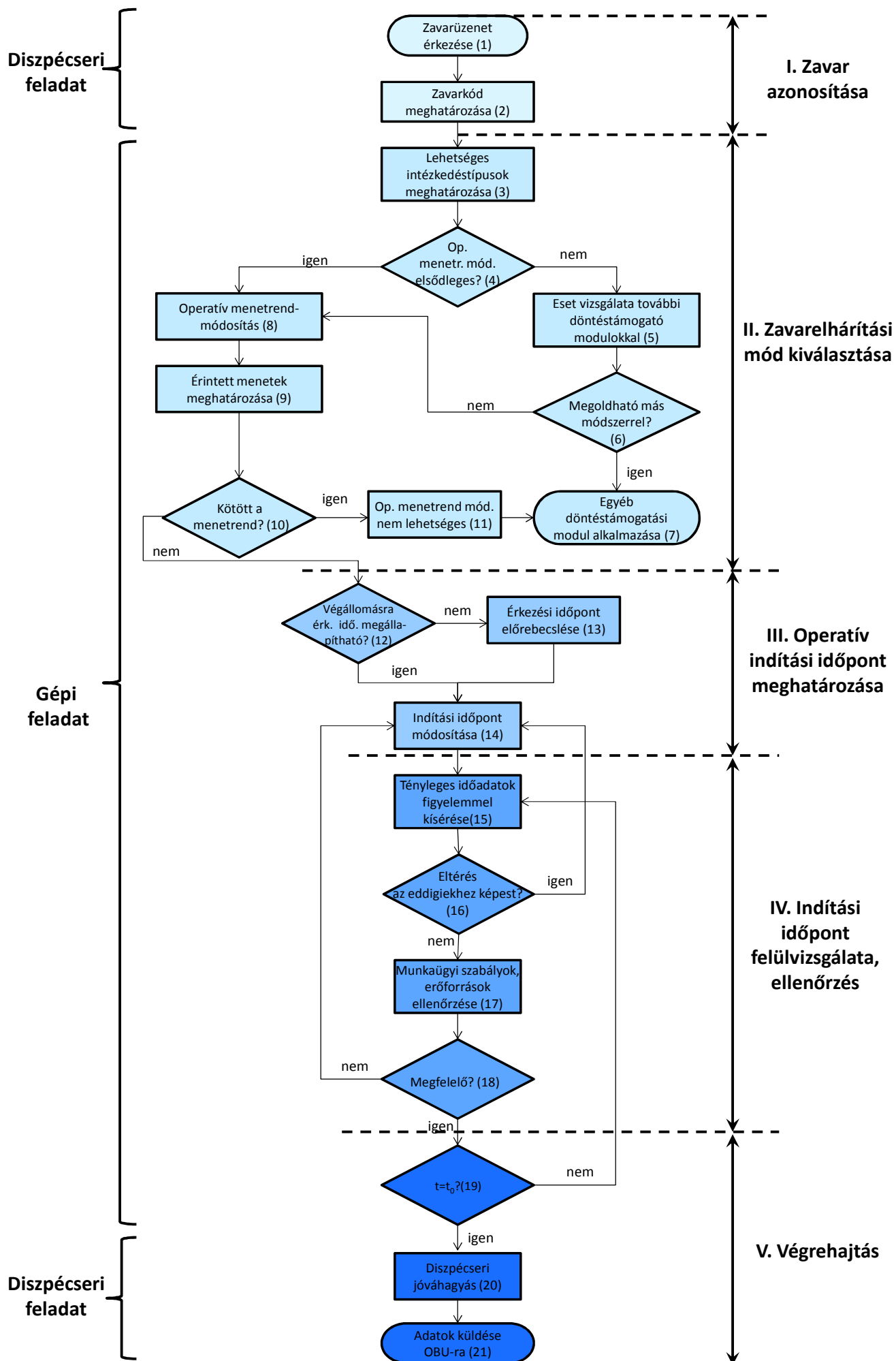
Az általam elkészített modell folyamatábrája a 11. ábrán látható. Szemlélteti, hogy a döntéstámogató rendszer milyen struktúra alapján dönt a zavarkezelési eljárásról, illetve, hogy az operatív menetrend-módosítás folyamata során milyen tényezőket vesz figyelembe.

A modellt a **humán és a gépi összetevők** beavatkozása szempontjából 3 részre osztottam:

- 1.) a kezdeti feladatokat, a zavarüzenetek feldolgozását és a zavarkód meghatározását a **diszpécser** végzi,
- 2.) az algoritmus számára átadott zavarkódból **gépi feladat** a zavarkezelési eljárás, majd az új indítási időpontok meghatározása, a szabályok ellenőrzése,
- 3.) a számítógép által megjelenített megoldást a **diszpécser** hagyja jóvá és küldi ki az OBU-ra.

A **döntési folyamat** szempontjából 5 fő részt különítettem el:

- I. Zavar azonosítása (*zavarüzenetek információiból zavarkód meghatározása*)
- II. Zavarelhárítási mód kiválasztása (*operatív menetrend-módosítás alkalmazhatóságának vizsgálata*)
- III. Operatív indítási időpont meghatározása (*matematikai módszerekkel új indítási időpontok kiszámítása*)
- IV. Az indítási időpontok felülvizsgálata, ellenőrzés (*változó forgalmi körülmények nyomon követése, munkaiügyi szabályok ellenőrzése*)
- V. Végrehajtás (*diszpécseri jóváhagyás, járművezető tájékoztatása*)



11. ábra: A döntéstámogató rendszer működésének folyamatábrája [saját szerkesztés]

A kidolgozott modell működése

I. Zavar azonosítása:

- (1) A zavarüzenet beérkezése meghatározza a helyszínt, a viszonylatot, a járművet és a hozzá tartozó járművezetőt. A diszpécser ezeket az információkat feldolgozza.
- (2) A diszpécser a beérkező információk (kiváltó esemény, érintett járművek száma) alapján meghatároz egy zavarkódot. Ezt a zavarkódot adja meg a rendszer számára.

II. Zavarelhárítási mód kiválasztása:

- (3) A zavarkódhoz egy előre definiált lista alapján meghatározhatók a lehetséges intézkedéstípusok. Ez a lista minden zavarkódhoz tartalmazza az alkalmazható eljárásokat prioritási sorrendben.
- (4) A lista alapján a rendszer megvizsgálja, hogy az operatív menetrend-módosítás végrehajtása az elsődleges-e?

Ha NEM a válasz:

- (5) A döntéstámogató rendszer más modulokra támaszkodva vizsgálja a problémát.
- (6) A vizsgálat eredményeként dönt, hogy operatív menetrend-módosítás nélkül (pl.: pótlással) megoldható-e a probléma.

Ha IGEN a válasz:

- (7) Átadja a feladatot más döntéstámogató modulnak.

Ha NEM a válasz

- (8) Operatív menetrend-módosítás mellett dönt.
- (9) Elemzi, hogy mely menetek indítási időpontját kell módosítani? Innentől kezdve minden egyes menetet, melyen módosítást kell végrehajtani, a rendszer külön kezel. Mindegyikre megvizsgálja az alábbiakat:

- (10) Kötött a menetrend? Az érintett menet menetrendjének vizsgálata:

Ha IGEN a válasz:

- (11) Kötött menetrend esetén nem lehetséges az operatív menetrend-módosítás. Ilyen esetben vagy a diszpécser manuálisan végzi a zavarkezelést, vagy átkerül a döntéstámogató rendszer egy más moduljához a feladat. Jelen dolgozatban ezzel a modullal nem foglalkozok.

Ha NEM a válasz:

- Nem kötött menetrend esetén lehetséges az új indulási idők meghatározása.

III. Operatív indítási időpont meghatározása:

(12) Az új indítási időpont meghatározásához meg kell vizsgálni, hogy az érintett forgalmi számú járművek végállomásra érkezésének időpontja meghatározható-e?

Ha NEM a válasz:

(13) Historikus adatok alapján a várható érkezési időpontok előre becslése, majd

(14) Az új indítási időpontok meghatározása. Akkor is ebbe az állapotba jutunk, ha a (12) kérdésre IGEN a válasz.

IV. Indítási időpont felülvizsgálata, ellenőrzése:

(15) Tényleges időadatok figyelemmel kísérésevel a rendszer folyamatosan összeveti az általa kiszámított vagy becsült érkezési időadatokat a járművekről érkező adatokkal.

(16) Ha adott intervallumon belül eltérés tapasztalható az indítási időpontokat újbóli módosítása szükséges.

(17) Ha adott intervallumon belül nem történt változás a kiszámított adatoknál, az új indítási időpontokra vonatkozóan ellenőrzi a munkaügyi szabályokat, valamint azt, hogy rendelkezésre áll-e a megfelelő erőforrás (jármű, járművezető).

(18) Megfelelő a megoldás?

Ha NEM a válasz akkor a folyamat kezdődik előlről (14).

Ha IGEN a válasz, akkor kezdődhet a megvalósítás.

V. Végrehajtás:

(19) A kiszámított megoldás diszpécseri felületen történő megjelenítése egy előre beállított (t_0) időpillanatban történik (pl.: 5 perccel a menet indulása előtt).

(20) A kiszámított indítási időpontot a diszpécser jóváhagyja.

(21) Diszpécseri jóváhagyás után az új indítási időpontok OBU-ra küldése.

5.3. A kidolgozott modell működési fázisainak részletes elemzése

I. Zavar azonosítása:

(1) A FUTÁR bevezetésének következtében zavar esetén (pl.:menetrendi eltérések) a járműről **zavarüzenetek** érkeznek az IVU.fleet rendszerbe és a ForTe rendszer Indítási jegyzékébe is. A diszpécseri felületen megjelennek az eltérő érkezési időpontok adatai is. A járműről érkező zavarüzenet egyértelműen meghatározza a jármű pozícióját,

vagyis a zavar keletkezésének helyszínét, a viszonylatot, a járművet és a hozzá tartozó járművezetőt. A zavarüzenetek automatikusan kitöltik a zavarnapló egyes részleteit. A diszpécser ezeket az információkat feldolgozza, regisztrálja.

Bemenő adat: zavarüzenet

Kimenő adat: zavarnapló adatok

(2) A diszpécser a beérkező információk (kiváltó esemény, érintett járművek száma) alapján pontosítja a zavar típusát. Ezek az információk lehetnek a zavarüzenetekből és a járművezetőtől érkező információk. Ezek alapján egy előre definiált listából meghatároz egy zavarkódot. Ezt a **zavarkódot** adja meg a döntéstámogató rendszer számára.

Bemenő adat: zavarnapló adatok, járművezetői információk

Kimenő adat: zavarkód

II. Zavarelhárítási mód kiválasztása:

(3) A lehetséges intézkedéstípusokat a zavarkód határozza meg. Ehhez egy olyan lista összeállítása szükséges, mely minden zavarkódhoz egyértelműen meghatározza az alkalmazható zavarkezelési eljárásokat prioritási sorrendben.

A zavarkód egy olyan komplex információs csomag, mely az alábbiakra vonatkozó információkat tartalmaz(hat):

- zavar típusa (forgalmi ok, pálya hiba, jármű hiba, személyzeti ok) (6. ábra)
- zavar hatása (késés, járműkiesés) (4. táblázat)
- zavaresemény térbeli, időbeli kiterjedtsége, az érintett járművek száma (5. táblázat)

A diszpécser a fentiek vizsgálatával határozza meg a zavarkódot. Ez lehet egy sorszám vagy egy betűkombináció. Minden zavarkódhoz hozzárendelhető egy **intézkedéscsomag**.

Például járműkiesés esetén:

A diszpécser vizsgálati eredménye: jármű hiba, járműkiesés, pontszerű, hosszan tartó, 1 járművet érint. A zavar kódja: pl.: 623

A 623-as zavarkódhoz tartozó intézkedéscsomag:

- 1. pótlás*
- 2. indítási időpontok módosítása.*

Ha pótlással nem megoldható a feladat, akkor az indítási időpontok módosítása szükséges.

Bemenő adat: zavarkód

Kimenő adat: intézkedés-csomag

(5) Eset vizsgálata más döntéstámogató modulokkal: ha az intézkedések listájának első helyén nem az operatív menetrend-módosítás szerepel, akkor a döntéstámogató rendszer más modulokra támaszkodva vizsgálja meg a problémát. Pótlás esetén például a ForTe tartalékkezelésre vonatkozó moduljában megvizsgálja, hogy az adott menet pótlására rendelkezésre áll-e erőforrás (jármű+járművezető). Ha igen, akkor a feladat megoldása nem az operatív menetrend-módosítás algoritmusával valósul meg. Ha nem oldható meg a feladat és az operatív menetrend-módosítás lehetősége szerepel az intézkedések listájában, akkor a feladat visszakerül a jelenleg tárgyalt modulhoz.

Bemenő adat: intézkedés-csomag

Kimenő adat: megoldást előállító modul meghatározása

(9) Érintett menetek meghatározása: a ForTe Indítási jegyzékében megtalálható a zavar által érintett forgalmi szám összes tervezett menete. A forgalmi szám következő menetét például valószínűleg érinti a zavar (műszaki hibás jármű esetén a következő menetét sem tudja teljesíteni). Ez a zavar elhárításának időbeliségével van kapcsolatban. Ha a zavar fordulóidőn belül elhárul, akkor a jármű következő menete teljesíthető. Ha a zavar követési időn belül elhárul, akkor a jármű után közlekedő másik járművet sem érinti a zavar. A zavarkódban definiált térbeli és időbeli kiterjedtség, valamint az érintett járművek száma meghatározza, hogy csak ez az egyetlen jármű érintett, vagy az ő előtte és utána induló járművek, netán a viszonylat összes járműve. Ezen információk ismeretében elemzi, hogy mely menetek indítási időpontját kell módosítani. Innentől kezdve minden egyes menetet, melyen módosítást kell végrehajtani, a rendszer külön kezel.

Bemenő adat: zavart okozó jármű forgalmi száma (zavarüzenet), zavar elhárításának ideje (zavarkód)

Kimenő adat: zavar által érintett menetek

(10) Menetrend vizsgálata: kötött menetrend esetén nem lehetséges az operatív menetrend-módosítás. Ezeknek az indítási időpontoknak a biztosítása kötelező. A

menetrend kötöttségének vizsgálat az Indítási jegyzékben történik. Minden indítási időponthoz hozzá kell rendelni egy kódot, mely megmutatja, hogy az indítási időpont módosítható-e. (pl.: 1-es kódot kap, melynél az indítási időpont betartása kötelező, 0-s kódot kap, melynél az indítási időpont nem kötött, tehát módosítható)

Bemenő adat: érintett menetek, és azok indítási időpontjának kódja (0 vagy 1)

Kimenő adat: operatív menetrend-módosítás lehetséges /nem lehetséges

III. Operatív indítási időpont meghatározása:

(12) és (13) Végállomásra történő érkezési időpont meghatározása: Az új indítási időpont meghatározásához meg kell vizsgálni, hogy az érintett járművek végállomásra érkezésének időpontja meghatározható-e? *pl.: járműkiesés miatt a következő 5 menet indulási idejét szükséges módosítani. Akkor ők érintettnek számítanak. Viszont a zavar esemény nem befolyásolja a végállomásra történő érkezésüket, így menetrendileg érkeznek. Ekkor a végállomásra történő érkezés időpontja ismert.*

A járművek érkezési ideje lehet:

- menetrend szerinti érkezés,
- korábbi operatív módosítás hatására számított érkezési időpont (pl. ha az indítási időpontot 10 perccel eltolta, akkor az érkezési időpont is 10 perccel módosul),
- járműfedélzeti eszközről érkező késésadatok és a menetrendben feltüntetett menetidő összege,
- folyamatosan változó (pl.: forgalmi torlódás esetén).

Forgalmi torlódás esetén historikus adatok alapján a várható érkezési időpontok előre becslése lehetséges. Ehhez a historikus forgalmi adatok adatbázisa szolgáltat információkat. Ugyanarról a torlódott szakasról korábban beérkezett járművek menetideje is szolgáltat információkat.

Bemenő adat: zavarkód, indítási jegyzék adatai, historikus adatok

Kimenő adat: érkezési időpont

(14) Az új indítási időpontok meghatározása: matematikai modellek használatával történik. Azt, hogy melyik matematikai modellt használjuk, a zavar típusától (járműkiesés vagy torlódás) és az érkezési időpontok ismeretétől függ. Ezek ismeretében az egyenletes követés biztosítható. A korábbi forgalomirányítási megoldások és a forgalomirányítási technikák adatbázisának használata is segítséget nyújt az új indítási időpontok meghatározásához.

Bemenő adat: zavarkód, érkezési időpontok

Kimenő adat: új indítási időpont

IV. Indítási időpont felülvizsgálata, ellenőrzése:

(15) Tényleges időadatok figyelemmel kísérése és újbóli módosítása: a járművek fedélzeti egységéről érkező menetrendi eltérés adatok változása megjelenik az indítási jegyzékben. Minden változás esetén az indítási időpontok újrakalkulálása szükséges. Ez a számítási folyamat addig tart, amíg el nem érkezik az a beállított t_0 időpillanat, amikor a kiszámított értékek diszpécseri felületen történő megjelenítése szükséges.

Bemenő adat: érkezési időpontok (változása)

Kimenő adat: új indítási időpont (felülírása)

(17) Munkaügyi szabályok ellenőrzése: az új indítási időpontokkal a járművezetők beosztása változhat. A munkaügyi szabályok betartása azonban ekkor is elsődleges. A munkaügyi szabályok adatbázisát felhasználva ezek ellenőrzése megtörténhet. Ekkor történik a rendelkezésre álló erőforrások ellenőrzése is. Az indítási jegyzék adataiban szerepel, ha egy járművezetőnek munkaközi szünet esedékes vagy a jármű forgalomból garázsba áll.

Bemenő adat: új indítási időpont, munkaügyi szabályok, erőforrás adatok

Kimenő adat: szabályok megsértésére vagy erőforrás hiányra vonatkozó információk

V. Végrehajtás:

(19) $t=t_0$? A kiszámított megoldás diszpécseri felületen történő megjelenítése egy előre beállított (t_0) időpillanatban történik (pl.: 10 perccel a menet indulása előtt). A számítógép két időadatot ismer: az általa kiszámított új indítási időpontot és egy felhasználó által beállított értéket ($t_{\text{beállított}}$), mely paraméterezhető és meghatározza, mennyi idővel az indulás előtt kell az új indítási időpontot megjeleníteni. Ezek alapján

$$t_0 = t_{\text{új indítási}} - t_{\text{beállított}}$$

pl.: A számítógép által kiszámított új indítási időpont 10:18. A paraméterezhető érték, melyet a felhasználó állított be 8 perc. Így pontosan 10:10-kor jeleníti meg a diszpécseri felületen az új indítási időpont. 8 perc áll rendelkezésre a diszpécseri jóváhagyásra, a távközlési rendszeren történő továbbításra és a járművezetőnek a nyugtázásra, felkészülésre az indulásra.

Bemenő adat: $t_{\text{új indítási}}$, $t_{\text{beállított}}$

Kimenő adat: t_0 elérésekor az új indítási időpont megjelenítése

(20) A kiszámított indítási időpontot a diszpécser jóváhagyja.

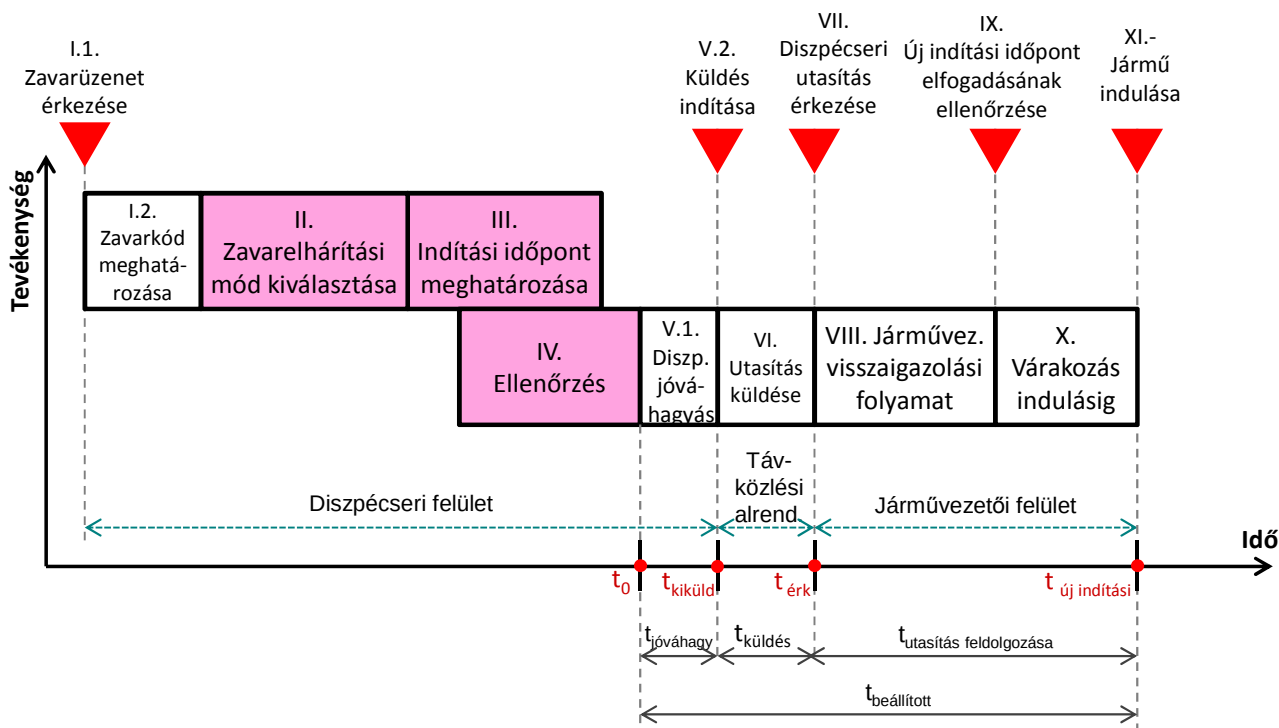
Bemenő adat: új indítási időpont

Kimenő adat: diszpécseri jóváhagyás

(21) Diszpécseri jóváhagyás után az új indítási időpontok küldése az OBU-ra.

Jelenleg nincs arra vonatkozó szabály, pontosan mennyi idővel a menet indulása előtt kell tájékoztatni a járművezetőt. Ez a döntéstámogató rendszer bevezetésével változhat. Ez az érték beállítható. Ennek köszönhetően a járművezető időben megkapja az utasítást.

Megvizsgáltam, hogy a döntéstámogató rendszer működése a diszpécseri feladatok mely részeit helyettesítheti. Ehhez **időkoordinált folyamatábrán** ábrázoltam a diszpécser, a járművezető és a távközlési rendszer által végzett feladatokat a zavarüzenet érkezésétől az új indítási időpont jóváhagyásáig. A 12. ábra szemlélteti a feladatokat, feltüntetve, hogy milyen felületen történik a tevékenységek végrehajtása. A lila színnel jelölt tevékenységek a manuális beavatkozást részben kiváltva számítógépes rendszerrel helyettesíthetők. Ideális esetben döntéstámogató rendszer 3 fázisban tudja a diszpécser munkáját helyettesíteni.



12. ábra Az operatív menetrend-módosítás folyamatának tevékenység-idő diagramja
[saját szerkesztés]

A döntéstámogató rendszer a beavatkozási lehetőségek meghatározását, valamint az új indítási időpontok módosítását addig végezheti, amíg nem érkezik el a t_0 időpillanat. Ez a diszpécseri felületen történő megjelenítés időpillanata. A korábban már említettek alapján a számítógép két időadatot ismer: az általa kiszámított új indítási időpontot és egy felhasználó által beállított értéket ($t_{\text{beállított}}$), mely paraméterezhető. Ezek alapján

$$t_0 = t_{\text{új indítási}} - t_{\text{beállított}}$$

A beállított érték a diszpécseri jóváhagyásra szánt időintervallumnak, a küldés idejének és a járművezetői jóváhagyásra szánt időintervallumnak az összegéből áll. Ha a diszpécser a beállított időintervallumon belül elmulasztja a jóváhagyást, a számítógép figyelmeztetést küld.

5.4. A kidolgozott modell működésének szemléltetése

A döntéstámogató rendszer működését a 3. fejezetben megismert példák alapján szemléltetem. Az első példa ismertetése az alábbiakban, a kötött menetrendi indulás és a forgalmi torlódás példaesetének megoldása, valamint matematikai modelljének ismertetése a 4. számú mellékletben található.

Járműkiesés műszaki meghibásodás miatt – a döntéstámogató rendszer működése

- (1) Zavarüzenet érkezése: a 2-es forgalmi számmal közlekedő jármű járművezető jelentése alapján műszaki hiba miatt nem tud forgalomba állni.
- (2) Zavarkód meghatározása: műszaki ok, járműkiesés, pontszerű, hosszan tartó, 1 járművet érint.
- (3) Intézkedéstípusok: 1. Pótlás 2. Operatív menetrend-módosítással egyenletes követés fenntartása
- (4) Operatív menetrend-módosítás az elsődleges? NEM
- (5) Más modullal történő vizsgálat: Tartalékkezelés modul
- (6) Megoldható? NEM (*nem áll rendelkezésre tartalékjármű*)
- (8) Operatív menetrend-módosítás szükséges
- (9) Érintett menetek meghatározása: a viszonylaton közlekedő többi jármű
- (10) Kötött menetrend? NEM (Menetrendi adatbázisból érkező adat)

(12) Végállomásra történő érkezési idő megállapítható? IGEN A többi menet érkezési időpontja nem változik, hiszen végállomási a zavar (zavarkódból következő döntés), akadályt nem okoz.

(14) Új indítási időpont meghatározása:

Kiindulási adatok:

T_f (fordulóidő) = 60 perc

t_k (követési idő) = 10 perc

$n_{\text{jármű}}$ (viszonylaton közlekedő járművek száma) = 6 db

$n_{\text{jármű, új}}$ (viszonylaton forgalomban maradt járművek száma) = 5db

Indítási időközök meghatározása:

Az 5 forgalomban maradt járműre vonatkozóan kell meghatározni az indítási időpontokat (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5)

1. Az új követési idő meghatározása:

$$t_{k, új} = \frac{T_f}{n_{\text{jármű, új}}} = \frac{60 \text{ perc}}{5 \text{ db}} = 12 \text{ perc}$$

2. Indítási időpontok meghatározása:

t_0 : bázisidő, az utolsó menetrend szerint teljesült menetindítási időpontja

$$t_1 = t_0 + t_{k, új} = 10:00 + 12 \text{ perc} = 10:12$$

$$t_2 = t_0 + (2 \times t_{k, új}) = 10:00 + 24 \text{ perc} = 10:24$$

$$t_3 = t_0 + (3 \times t_{k, új}) = 10:00 + 36 \text{ perc} = 10:36$$

$$t_4 = t_0 + (4 \times t_{k, új}) = 10:00 + 48 \text{ perc} = 10:48$$

$$t_5 = t_0 + (5 \times t_{k, új}) = 10:00 + 60 \text{ perc} = 11:00$$

Forgalmi szám	Menetrendi érkezés	Számított érkezés	Menetrendi indulás	Módosított indulási idő
1	9:50		10:00	t_0
2	10:00		10:10	*****
3	10:10		10:20	$t_1 = 10:12$
4	10:20		10:30	$t_2 = 10:24$
5	10:30		10:40	$t_3 = 10:36$
6	10:40		10:50	$t_4 = 10:48$
1	10:50		11:00	$t_5 = 11:00$

(15) Tényleges időadatok figyelemmel kísérése: az indítási jegyzékben a számított érkezési időpontok ellenőrzése. Ha bármelyik jármű késne, újabb zavarüzenet, az indítási időpontok meghatározása kezdődik előlről.

- (16) Eltérés az eddigiekhez képest? NEM Az indítási időpontokat a rendszer nem változtatja.
- (17) Munkaügyi szabályok ellenőrzése: a beosztásra vonatkozó adatok ellenőrzése - a Munkaügyi szabályok modul segítségével.
- (18) Megfelelő? Munkaügyi szabályt nem sért? NEM
- (19) $t = t_0$? Ha elérte az OBU-ra küldés időpontját, akkor a diszpécser jóváhagyása után kikerül az OBU-ra.

Jelen esetben pl. a beállított érték 10 perc (10 perccel a menet megkezdése előtt tájékoztatni kell a diszpécser). Ha $t_0 = 10:02$, akkor megjelenítésre kerül az információ, majd diszpécseri jóváhagyás után kiküldésre kerül az OBU-ra.

A döntési modell működését a mellékletben két másik példán keresztül is szemléltetem.

5.5. Az operatív menetrend-módosítás automatizálásának hatása

Az operatív menetrend-módosítás gépi támogatása a diszpécseri feladatok egy részének kiváltására szolgálhat. Ennek haszna közvetlenül a diszpécser munkájánál jelentkezik, közvetetten azonban mind utas oldalról, mind üzemeltetői oldalról pozitív változásokat eredményezhet.

Utas oldalról érzékelhető változások:

- Egyenletesebb járműkövetést biztosítása, így az utasok kevésbé érzékelik a vonalon fellépő zavarok hatását.
- Szolgáltatási színvonal növekedése.

Üzemeltetési oldalról

- Diszpécser terheltségének csökkentése
- Egy-egy problémásabb eset kezelése során nem fordul elő a kisebb fajsúlyú zavarok kezelésének figyelmen kívül hagyása. Megfelelő kapacitású számítógép képes több számítási műveletet párhuzamosan is végezni.
- Munkaügyi szabályok betartása. Jelenleg a diszpécser által kiadott utasításokat ilyen szempontból semmilyen gépi rendszer nem ellenőrzi.
- Az indulási időpontok OBU-ra küldésének ideje szabályozható. A járművezető időben megkapja az utasítást.

- Munkaerő megtakarítás lehetséges.
- A szolgáltatási szint növekedésével kevesebb utaspanaszra lehet számítani.

A döntéstámogató rendszer bevezetésével a budapesti közlekedésben előforduló **zavarok hatásának minimalizálása** a cél. Ahhoz, hogy a zavarok mennyisége csökkenjen, jelentős beruházásokra lenne szüksége, mind a járműállomány bővítése, mind az infrastrukturális fejlesztések területén. A forgalmi torlódások csökkentése pedig szintén infrastrukturális fejlesztésekkel vagy közlekedés menedzsment eszközökkel szüntethető meg. Ez sem a pénzügyi, sem az időbeli ráfordításokat tekintve nem eredményezhet **rövidtávon** változásokat. A keletkezett zavarok hatása azonban megfelelő zavarelhárítással minimalizálható.

6. Jövőbeli kitekintés

Dolgozatomban az operatív menetrendkészítés automatizálásának elemzésére vonatkozó megállapításaimat mutattam be. A nemzetközi irodalom áttekintésének folytatásával az eddig publikált eredmények iránymutatást adhatnak a későbbi munka során.

A meghatározott rövidtávú célok elsősorban az elméleti kutatást, a modellalkotás témakörét fedik le. Az elért eredmények függvényében hosszútávú cél a felállított modellek gyakorlatba átültetése, részvétel az informatikai rendszer kialakításában.

A **rövidtávú célok** között szerepel:

- a lehetséges zavarkódok felvétele, és az ezekhez kapcsolódó beavatkozások meghatározása,
- a kutatás kiterjesztése további alágazatokra,
- átszállási kapcsolatok vizsgálata,
- betétjáratok figyelembe vétele,
- komplex zavar kezelésének vizsgálata.

Hosszútávú cél a kutatás során:

- matematikusok segítségével komplexebb matematikai modellek megalkotása,
- a döntéstámogatási alrendszer adatbázisának bővítése,
- az algoritmus felépítése,
- tesztrendszer felállítása,
- működő rendszer esetén 1. fázisként történő bevezetése, mely kezdetben csak a diszpécser munkáját ellenőrzi,
- 2. fázisként a döntéstámogató rendszer önálló működésének vizsgálata,
- más közösségi közlekedési szolgáltatók forgalomirányítási tevékenységének elemzése, a hibamentesen működő döntéstámogató rendszer adaptálásának vizsgálata.

A döntéstámogató rendszerrel kapcsolatos vizsgálatok során a jelenleg fejlesztés alatt álló informatikai rendszer a változásainak a követése és beépítése szükséges. A dolgozatban felállított modellek azonban a további fejlesztési irányok alapját képezik.

Összefoglalás

Dolgozatomban az operatív **menetrendkészítés automatizálásának** megvalósíthatósági feltételeit **vizsgáltam**. Célkitűzés volt megállapítani, hogy az operatív menetrendkészítés folyamata során a menetirányító diszpécserek mely feladatai **válthatók ki számítógépes támogatással**, és ez hogyan illeszthető a jelenlegi informatikai rendszerbe.

A **kérdéskör felvetését az indokolta**, hogy a budapesti közösségi közlekedésben fellépő zavarok kezelése hatalmas terhet ró a menetirányító diszpécserekre. Munkájuk során túl sok szempontot, szabályrendszert kell figyelembe venniük, **minimális gépi támogatás** mellett. Egy döntéstámogató rendszer fejlesztései már elkezdődtek, melybe jól beilleszthető az **operatív menetrend-módosítás szoftveres támogatása**. A **FUTÁR** bevezetésével a jelenleginél jóval több adat áll majd a diszpécserek rendelkezésére a járművek helyzetéről, időadatairól, a zavarok helyszínéről, stb. Az operatív menetrendkészítés automatizálása éppen ezért a **FUTÁR bevezetésével** válik aktuálissá. Munkám során **vizsgáltam** a diszpécserek feladatait, elemeztem a közlekedési hálózaton fellépő **zavarok típusait**, a forgalomirányítás **szabályrendszerét**, technikáit, az operatív menetrend-módosítás lépéseit. Tanulmányoztam a jelenlegi és a fejlesztés alatt álló **informatikai környezetet**, melyben a zavarkezelési eljárásokat végzik.

A **vizsgálat eredményeként** rendszereztem a fellépő zavarok típusait térbeli és időbeli kiterjedtségük, a járművek közlekedésére gyakorolt hatásuk alapján. Ez a zavarkód megállapítása szempontjából fontos, ami a **döntési modell** alapja. Elkészítettem az **informatikai rendszer vázát**, mely a döntéstámogató alrendszer adatbázis kapcsolatait mutatja. Meghatároztam az operatív menetrend-módosítást végző **algoritmus bemenő adatait**, s megállapítottam, hogy ezek közül vannak jelenleg is tárolt adatok, azonban az adatbázisok bővítése szükséges a későbbiekben. Folyamatábrán szemléltettem az **algoritmus belső működését**, a döntési modellt. Az egyes lépéseket, döntési pontokat részletesen kifejtettem. Ez alapján megállapítottam, hogy az **operatív menetrendkészítés** folyamata **részben automatizálható**, részben diszpécseri beavatkozást kíván. **Esettanulmányon** keresztül vizsgáltam a modell működését és az új indítási időpontok matematikai alapját. Elemeztem a **jövőbeli lehetőségeket** is. Ez alapján kijelenthető, hogy a rendszer **hatékonysága növelhető**, ha a zavarok bekövetkeztének ideje **jármúdiagnosztikai módszerekkel** előre jósolható.

Irodalomjegyzék

- [1] Shuliang Pan, Hongjun Song, Lei Jia, Nan Zou: **Intelligent Bus Scheduling System with Real-Time Optimization and Monitoring**, Shandong University, Kína, 17th ITS World Congress, Busan, Dél-Korea, 2010, Paper TP091-4
- [2] **A Forgalom-lebonyolítás Működéstechnológiai Kódexe**, BKK Zrt, Budapest, 2012.
- [3] A forgalomirányítási és utastájékoztatási rendszer fejlesztése, korszerűsítése a felszíni és felszín alatti közösségi közlekedésben, **EFJ Integráció, Logikai rendszerterv**, Budapest, 2012.
- [4] **A forgalomirányítási és utastájékoztatási rendszer fejlesztése, korszerűsítése a felszíni és felszín alatti közösségi közlekedésben**, BKV Zrt., Budapest, 2010.
- [5] Henk G. Sol et al. (1987). **Expert systems and artificial intelligence in decision support systems**, Second Mini Euroconference, Lunteren, Hollandia, 17–20 November 1985. Springer, 1987. p.1-2.
- [6] **Decision Support Systems**, <http://diuf.unifr.ch/ds/courses/dss2002/pdf/DSS.pdf>, University of Fribourg, letöltés ideje: 2012. szeptember 27.
- [7] Power, D. J.: **Decision support systems: concepts and resources for managers**, Westport, Conn., Quorum Books, 2002.
- [8] Alison Cawsey: Mesterséges intelligencia, Alapismeretek, Panem Könyvkiadó, Budapest, 2002.
- [9] **Budapesti Közlekedési Központ** honlapja: <http://bkk.hu/> Letöltés ideje: 2012. szeptember 24.
- [10] Dr John C. Miles, A. Janet Walker: **The potential application of artificial intelligence in transport**, Ankerbold International Ltd, UK, 2010.
- [11] GIRO Inc. (Le Groupe en Informatique et Recherche Opérationnelle) honlapja: <http://www.giro.ca>, letöltés ideje: 2012. szeptember 27.
- [12] IVU Traffic Technologies AG honlapja: <http://www.ivu.de/> Letöltés ideje: 2012. szeptember 27.
- [13] **ForTe Felhasználói dokumentáció, Forgalomirányítás és Zavarkezelés modul**, IQSYS Zrt., Budapest, 2011.

Mellékletek

1. számú melléklet

Fogalomtár [2]

1. Menetrendekkel, menetrendi alapadatokkal kapcsolatos fogalmak

Indítási jegyzék : az egyes viszonylatokon belül a járművek konkrét indulási, áthaladási és érkezési időpontjainak időrendi jegyzéke.

A menetrendi időadatok:

- kiegyenlítő idő** a forgalom menetrendszerűsége gyakorolt hatásainak csillapítására alkalmazott többlet időtartam.
- tartózkodási idő** a járműnek az érkezése és indulása között eltelt idő, amely magában foglalja a kiegyenlítő időt és a technológiai időszükségleteket is.
- technológiai idő** a technológiai, forgalmi tevékenység elvégzéséhez szükséges minimális időszükséglet (pl. a jármű átvételére szánt idő mértékét, a személyzet váltására adott időt)

Kötött menetrend

Olyan menetrend, vagy menetrendi rész, amely 15 perces vagy annál ritkább követési időket tartalmaz és az indulási időpontok csak a végállomásra, vagy valamennyi megállóhelyre egyenként, bármely módon meg lettek hirdetve.

Kötött menetrendi indulásnak tekintendő a kötött menetrendi időszakban elsőként meghirdetésre került indulási időpont, függetlenül attól, hogy az előtte lévő időszak 15 percnél kisebb követési időközöket tartalmaz.

Törölt indulás

Kötött menetrendi időszakban a kimaradt vagy a menetrend szerinti indulási időponttól eltérően teljesülő menet. Kivétel, ha

- vonali késés, vagy
- a vonalon keletkezett jármű-, illetve személyzethiány pótlása (tartalék felhasználás, átcsoportosítás, felcserélt indulás, pihenőidő áthelyezése stb.), vagy
- hangolás következtében az indulás a követési idő 50 %-án belüli késéssel teljesül.

2. A forgalom lebonyolításával kapcsolatos fogalmak

Forgalmi zavar

Egy viszonylat zavartnak tekintendő minden olyan esetben, amikor a viszonylat járműveinek közlekedése a menetrendi paraméterektől eltér.

Operatív indítás

Operatív indításnak nevezzük a forgalom egyenletessége érdekében, a menetrendben meghatározott indulási időpontoktól eltérő, a menetirányító diszpécser utasítása alapján történő közlekedtetést.

Késés

A menetidő megnövekedése következtében kialakuló menetrendi eltérést késésnek nevezzük, ha az nem a vonali egyenletesség javítása érdekében, menetirányítói utasításra következik be.

Átcsoportosítás

Egy jármű menetrendben meghatározott viszonylata helyett egy másik viszonylatra történő operatív átirányítása.

Tartalékjármű

- *Központi tartalékjármű* a személyzettel együtt, összefüggően legalább 2 órán át felhasználható jármű.
- *Egyéb tartalékjármű* a 2 óránál rövidebb felhasználhatósági idejű, személyzettel együtt biztosított tartalékjármű.
- *Üzemi tartalékjármű* a menetrendben nem szereplő olyan tartalékjármű személyzettel együtt, amely felett a belső szolgáltató, illetve a közszolgáltatók rendelkeznek.
- *A járművezető nélküli tartalékjármű* személyzettel nem rendelkező tartalékjármű.

Útvonal lerövidítése, csonkáztatás

Adott viszonylat járművének vagy járműveinek a menetrendben meghatározott útvonal egy szakaszán történő operatív közlekedtetése.

3. Adatszolgáltatással kapcsolatos fogalom

Elektronikus Forgalmi Jelentés - EFJ

Az Elektronikus Forgalmi Jelentés a menetrendi alapadatokat és a tényleges indulási időpontokat tartalmazó teljesítménykövető rendszer, amely a műszaki elhárítást igénylő modullal (műszaki modul) áll összeköttetésben.

2. számú melléklet

A forgalomirányítás szabályrendszeréhez kapcsolódó esettanulmányok

2. Zavar hatása kötött menetrendi indulásokra

A forgalmi helyzet bemutatása:

Az „A” és a „B” végállomás között az autóbuszok 20 perces követési időközzel közlekednek, kötött menetrend szerint.

Zavar típusa:

A „B” végállomásról induló 2-es forgalmi számmal közlekedő járműnek 7:50 percre kellene érkeznie az „A” végállomásra, ahonnan 8:00-kor indulna tovább. A járművet egy baleset feltartóztatja, melynek elhárítása 17 perc késést eredményez. 20 perces követési időköznél ez a követő járművet nem érinti, de a 2-es forgalmi számú jármű 8:07-re érkezik a végállomásra, 8:00-kor induló menetét nem tudja megkezdeni.

A zavar pontszerűen jelentkezik, egyetlen járművet érintve, a követési időn belül megszüntethető, viszont hatással van a jármű következő menetrendi indulására.

Diszpécseri beavatkozás:

Alkalmazott szabályok:

- Kötött menetrendnél elsődleges a menetrend szerinti indulások betartása.
- Minden esetben, ha lehetséges, pótolni kell!
- Felcserélt indulás alkalmazása, ha jármű+járművezető rendelkezésre áll.
- 50%-os szabály alkalmazása: 20 perces követés esetén a késő járműv 10 perc késéssel elindítható, ha a pótlás nem oldható meg az eredeti indulási időre.

Diszpécseri döntés:

A diszpécser 4 lehetőség közül választhat, ezek sorrendje meghatározza az elvárt cselekvési sorrendet is. A 13. ábrán az egyes megoldási lehetőségek módosított indulási időpontjai láthatók:

1. Pótlás: ez az elsődleges megoldási lehetőség. Tartalékjármű beállításával a 8:00 indulás teljesíthető, azonban a forgalmi szám változik.
2. Felcserélt indulás: A 2-es forgalmi számmal közlekedő késése miatt a 3-as forgalmi számmal közlekedő jármű indulási idejét módosítjuk 8:00-ra. A 3-as forgalmi számú jármű garázsból áll be a forgalomba (GF), és az „A” végállomásra hamarabb, 7:58-kor érkezik, így 8:00-kor elindítható. A késő 2-es forgalmival közlekedő járművet 8:20-kor indítjuk.

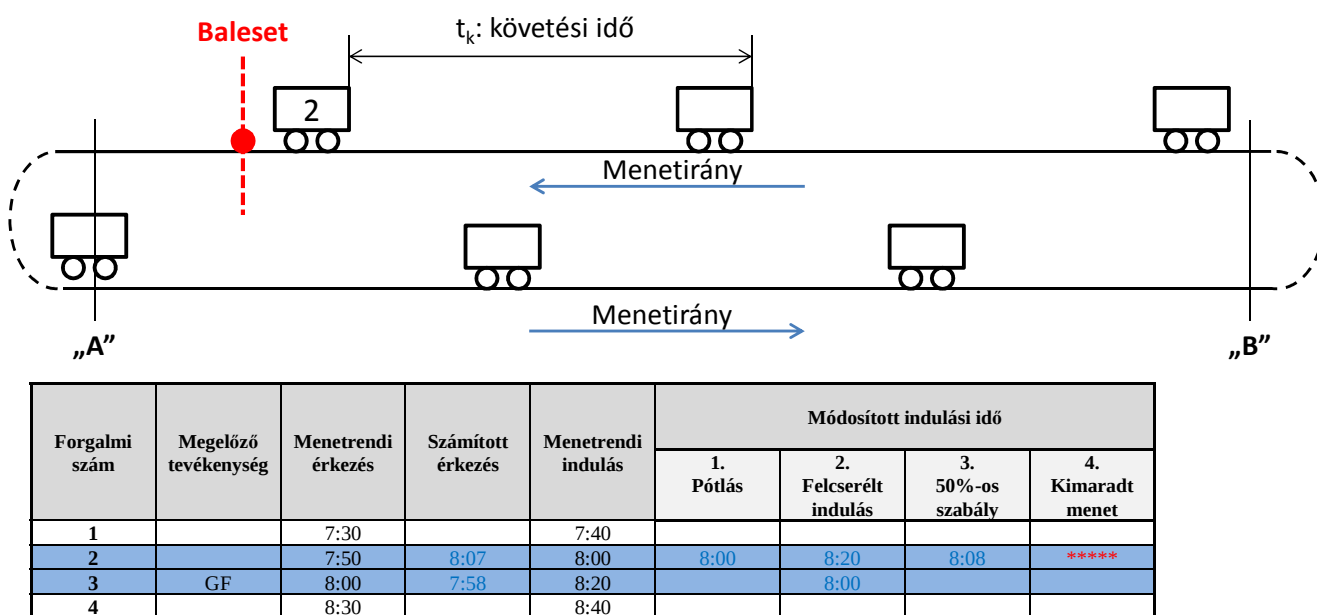
- 50%-os szabály alkalmazása: Ha a pótlás nem megoldható, akkor az 50%-os szabály értelmében 20 perces követési idő esetén maximum 10 perces késéssel elindítható a jármű. A késő jármű 8:00 indulási időpontja helyett leg hamarabb 8:08-kor tud elindulni, amely a 10 perces tűréson belül van, így elindítható.
- Kimaradt menet: Ha a fent említett megoldási lehetőségek egyike sem teljesíthető, akkor a menetet kimaradt menetnek kell jelölni. Ilyen esetben 7:40-es jármű későbbi és a 8:20-as korábbi indítása nem alkalmazható.

Diszpécseri utasítás:

- Pótlás: tartalékjármű kérése
- Felcserélt indulás: járművezetők tájékoztatása az új indítási időről
- 50%-os szabály alkalmazása: járművezető tájékoztatása az új indítási időről

A beavatkozás hatása:

Az 1. és a 2. esetben az utasok nem érzékelik a változást. A 3. esetben a 8:00-s kötött menetrendi indulás nem teljesül ugyan, az utasok a 40 perces várakozáshoz képest (kimaradt menet esetén) csupán a 8 perces késést érzékelhetik. A 4. eset kerülendő. Az utóbbi 2 esetben az utasok tájékoztatása szükséges.



13. ábra: Zavar hatása kötött menetrendi indulásra [saját szerkesztés]

3. Forgalmi torlódás

A forgalmi helyzet bemutatása:

Az „A” és a „B” végállomás között a járművek (autóbuszok) 8 perces követési időközzel közlekednek, nem kötött menetrend szerint.

Zavar típusa:

A „B” végállomásról induló és az „A” végállomásra tartó járművek csúcsforgalom miatt torlódásba kerülnek. Kezdetben a járművek késése pár perces, azonban a torlódás miatt egyre nő, majd a forgalom folyamatosságának helyreállása után a késés csökken, és végül visszaáll nullára.

Diszpécseri beavatkozás:

Alkalmazott szabályok:

- Mivel a menetrend nem kötött, ezért elsődleges a járművek egyenletes követési idejének biztosítása.
- 8 perces követési időköznel 5-15 perces módosított követési idő alkalmazható.
- A torlódás jellegéből adódóan, megszűnésének időpontja előre nem látható. A járművek várható érkezési ideje dinamikusan változik.

Diszpécseri döntés:

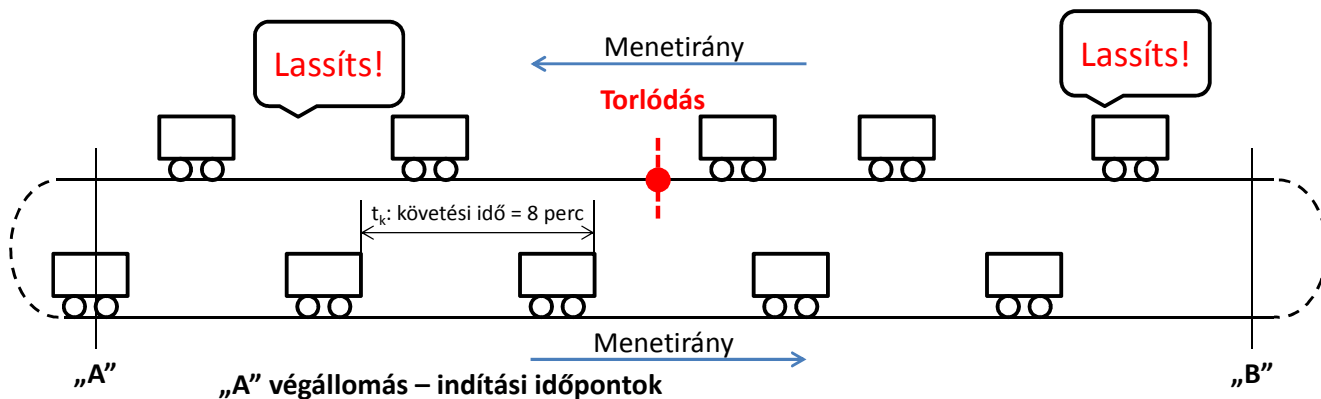
A végállomási indítási időket a diszpécser úgy módosítja, hogy a követési időközök egyenletesek legyenek. A késés mértéke kezdetben folyamatosan növekszik a torlódás mértékével összhangban, majd folyamatosan csökken, az indítási időközöknek azonban így is egyenletesnek kell lenniük. Az új indítási időpontok kiadásánál a munkaügyi szabályokat a diszpécser figyelembe veszi. Azokat a járművezetőket, akik munkaközi szünetre mennek, nem osztja be a következő menetre.

Diszpécseri utasítás:

Új végállomási indítási időpontok közlése a járművezetőkkel. A torlódott szakaszon kívül eső járművek lassítása.

A beavatkozás hatása:

A járművek követési ideje ugyan növekszik, azonban az egyenletes követés miatt az utasáramlatok egyenletesebben elszállíthatók, a megállóhelyi zsúfoltság csökken.



Forgalmi szám	Menetrendi érkezés	Számított érkezés	Menetrendi indulás	Módosított indulási idő	Követési idő
1	15:57		16:02		9
2	16:05		16:10	16:11	9
3	16:13	16:18	16:18	16:20	10
4	16:21	16:28	16:26	16:30	11
5	16:29	16:38	16:34	16:41	10
6	16:37	16:49	16:42	16:51	11
7	16:45	17:01	16:50	17:02	10
8	16:53	17:07	16:58	17:12	9
9	17:01	17:13	17:06	17:21	9
10	17:09	17:18	17:14	*****	-
11	17:17	17:25	MK1*		-
12	MK1		17:22	17:30	8
13	17:25	17:31	FG**		-
14	GF***	17:28	17:30	17:38	8

*****: kimaradt menet

*MK1: munkaközi szünet

**FG: Forgalomból garázsba megy

***GF: Garázsból forgalomba áll

14. ábra: Szabályrendszer illusztrálása – Forgalmi torlódás [saját szerkesztés]

3. számú melléklet

A ForTe – EFJ Indítási jegyzék képernyő bemutatása[13]

A menetirányító diszpécserek munkájának megértését segíti a ForTe rendszer EFJ moduljában elérhető Indítási jegyzék képernyő ismerete. Az alábbiakban látható az Indítási jegyzék képernyő áttekintése.

Bejelentkezés után a menetirányító diszpécser az alábbi képernyőkép fogadja:

[illegible]

15. ábra: ForTe EFJ Indítási jegyzék képernyője [T-Systems]

A képernyő bal oldaláról indulva a diszpécser az alábbiakat tekintheti meg:

- Dátum
- Viszonylat
- Forgalmi szám
- Végállomások megjelenítése: az indítási jegyzék fejlécében
- Indítási időpontok megjelenítése: a megállók nevei alatt 4 oszlop látható, melyben időadatok szerepelnek:
 - o Tervezett érkezés
 - o Tervezett indulás
 - o Számított érkezés
 - o Tényleges indulás
- Piktogramok jelölik a zavar típusát
- Betűkódok jelölik a nem forgalmi tevékenységeket (pl.: Váltás, pihenő)

4. számú melléklet

A kidolgozott modell működésének szemléltetése példákon keresztül

1. Zavar hatása kötött menetrendi indulásokra

A döntéstámogató rendszer működése:

- (1) Zavarüzenet érkezése: a 2-es forgalmi számmal közlekedő jármű járművezetője jelenti, hogy baleset történt az útvonalán.
- (2) Zavarkód meghatározása: Forgalmi ok, késés
- (3) Intézkedéstípusok:
 1. Pótlás
 2. Operatív menetrend-módosítás
- (4) Operatív menetrend-módosítás az elsődleges? NEM
- (5) Más modullal történő vizsgálat: Tartalékkezelés modul
- (6) Megoldható? NEM (*nincs rendelkezésre álló tartalék*)
- (8) Operatív menetrend-módosítás szükséges
- (9) Érintett menetek meghatározása: a viszonylaton közlekedő többi jármű (Indítási jegyzékből érkező adat)
- (10) Kötött a menetrend? IGEN (Menetrendi adatbázisból érkező adat)
- (11) Operatív menetrend-módosítás nem lehetséges
- (7) **Más döntéstámogatási modul alkalmazása**

2. Forgalmi torlódás

A döntéstámogató rendszer működése:

- (1) Zavarüzenet érkezése: a 3-as forgalmi számmal közlekedő jármű járművezetője forgalmi torlódás miatt késést jelent.
- (2) Zavarkód meghatározása: forgalmi ok, külső ok, vonali, hosszan tartó, a viszonylat összes járművét érinti
- (3) Intézkedéstípusok:
 1. Operatív menetrend - módosítás
 2. Szélsőséges mértékű késés esetén pótlás
- (4) Operatív menetrend-módosítás az elsődleges? IGEN
- (8) Operatív menetrend-módosítás szükséges
- (9) Érintett menetek meghatározása: a viszonylaton közlekedő többi jármű
- (10) Kötött a menetrend? NEM (Menetrendi adatbázisból érkező adat)
- (12) Végállomásra történő érkezési idő megállapítható? NEM
- (13) A torlódás miatt az érkezési időpont csak előrebecsülhető. (Historikus adatok!)
- (14) Új indítási időpont meghatározása:

Kiindulási adatok:

t_{sz} : számított érkezés

$t_{techn} = t_{techn, min} = 1$ perc

Az új követési idő meghatározása:

Ha $t_{sz} \geq t_{menetrendi}$, akkor:

$$t_{módosított} = t_{sz} + t_{techn, min}, \text{ ha „Menetrendi indulás”} \\ \neq \{FG, MK1, stb.\}$$

$$t_{módosított} = 0, \text{ ha „Menetrendi indulás”} = \{FG, MK1, stb.\}$$

Ha $t_{sz} + t_{techn, min} \leq t_{menetrendi}$, akkor:

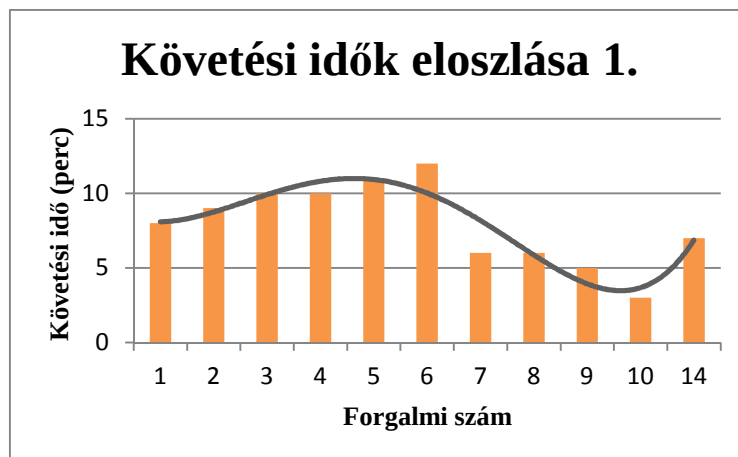
$$t_{módosított} = t_{menetrendi}$$

Ha a számítás menete csupán a technológiai időtől és a számított érkezéstől függne, a módosított indítási idők és a követési időközök az alábbiak szerint alakulnának:

7. táblázat: Indítási időpontok – helytelen megoldás [saját szerkesztés]

Forgalmi szám	Menetrendi érkezés	Számított érkezés	Menetrendi indulás	Módosított indítási idő	Követési idő
1	15:57		16:02		8
2	16:05		16:10		9
3	16:13	16:18	16:18	16:19	10
4	16:21	16:28	16:26	16:29	10
5	16:29	16:38	16:34	16:39	11
6	16:37	16:49	16:42	16:50	12
7	16:45	17:01	16:50	17:02	6
8	16:53	17:07	16:58	17:08	6
9	17:01	17:13	17:06	17:14	5
10	17:09	17:18	17:14	17:19	3
11	17:17	17:25	MK1		-
12	MK1	17:21	17:22	17:22	7
13	17:25	17:31	FG		-
14	GF	17:28	17:30	17:29	

A követési idők egyenletessége ebben az esetben nem áll fenn, eloszlása a következőképpen alakul:



16. ábra: A követési idők eloszlása helytelen számítás esetén [saját szerkesztés]

A követési idők egyenletes elosztása érdekében mozgó átlaggal történő számítást alkalmazunk. A mozgó átlagot több forgalmi számra is kiterjeszthetjük, az értékek annál pontosabban alakulnak. Jelen példában maximum 4 elem átlagát tekintve végeztem számításokat. Az új indítási időpontok a következőképpen alakulnak:

1. lépés: Ebben az esetben a késést jelentő, 3-as forgalmi számú jármű várható érkezési időpontját ismerjük. Az 1-es és a 2-es forgalmi számmal közlekedő jármű menetrend szerint indulhat.

Követési idő átlagának kiszámítása, figyelembe véve, a technológiai idővel számolt legkorábbi indulást:

$$\text{Átlag} = \frac{t_3 - t_1}{2} = 8,5$$

Ebből a követési idők: 8 perc és 9 perc.

Az új indítási időpontok:

$$t_1 = t_1 = \text{menetrend szerinti indulás}$$

$$t_2 = t_1 + t_{\text{követési},1} = 16:02 + 8 \text{ perc} = 16:10$$

$$t_3 = t_2 + t_{\text{követési},2} = 16:10 + 9 \text{ perc} = 16:19$$

Forgalmi szám	Menetrendi érkezés	Számított érkezés	Legkorábbi indulás	Menetrendi indulás	Módosított indulási idő	Átlag	Követési idő
1	15:57		16:02	16:02		8,5	8,0
2	16:05		16:10	16:10			9,0
3	16:13	16:18	16:19	16:18	16:19		

17. ábra: Számítás 1. lépése [saját szerkesztés]

2. lépés:

$$\text{Átlag} = \frac{t_4 - t_1}{3} = 9$$

Ebből a követési idők: 9 perc

A t_2 és a t_3 értékét az egyenletes követés érdekében módosítani szükséges.

$$t_1 = t_1$$

$$t_2 = t_1 + t_{\text{követési}} = 16:02 + 9 \text{ perc} = 16:11$$

$$t_3 = t_2 + t_{\text{követési}} = 16:11 + 9 \text{ perc} = 16:20$$

$$t_4 = t_3 + t_{\text{követési}} = 16:20 + 9 \text{ perc} = 16:29$$

Forgalmi szám	Menet- rendi érkezés	Számított érkezés	Leg- korábbi indulás	Menet- rendi indulás	Módo- sított indulási idő	Átlag	Követési idő
1	15:57		16:02	16:02		9,0	9,0
2	16:05		16:10	16:10	16:11		9,0
3	16:13	16:18	16:19	16:18	16:20		9,0
4	16:21	16:28	16:29	16:26	16:29		

18. ábra: Számítás 2. lépése [saját szerkesztés]

A 3., a 4., és az 5. lépés hasonlóan az eddigiekhez történik. Ábrázolását jelen fejezetben eltekintek, az 5. lépés eredménye az alábbiak szerint alakul.

Forgalmi szám	Menet- rendi érkezés	Számított érkezés	Leg- korábbi indulás	Menet- rendi indulás	Módo- sított indulási idő	Átlag	Követési idő
1	15:57		16:02	16:02			9,0
2	16:05		16:10	16:10	16:11		9,0
3	16:13	16:18	16:20	16:18	16:20		10,0
4	16:21	16:28	16:30	16:26	16:30	10,6	10,0
5	16:29	16:38	16:39	16:34	16:40		11,0
6	16:37	16:49	16:50	16:42	16:51		11,0
7	16:45	17:01	17:02	16:50	17:02		

19. ábra: Számítás 5. lépése [saját szerkesztés]

6. lépés:

Ennél a lépésnél ha az eddigiek szerint számoljuk az új indítási időpontokat, akkor 9 perces követéssel indulnának a járművek. A 7-es forgalmi számmal közlekedő járműnek ezek szerint 16:58-kor kellene indulnia ($t_5 + 18 \text{ perc}$). A legkorábbi indulási időpontja, azonban 17.02 lehet. Ekkor a vizsgálat szerint:

$$\text{ha } t_{sz} + t_{techn} > t_{módosított},$$

akkor az új indítási időpontot a követési időköz egyenletességét szem előtt tartva számoljuk. Vagyis:

$$t_{8,módosított} = t_7 + t_{\text{követési}}$$

Jelen esetben az előző követési érték 11 perc volt, így itt 10-re csökkenthetjük a követési értéket. Az új indítási időpont: 17:12.

Forgalmi szám	Menetrendi érkezés	Számított érkezés	Legkorábbi indulás	Menetrendi indulás	Módosított indulási idő	Átlag	Követési idő
1	15:57		16:02	16:02			9,0
2	16:05		16:10	16:10	16:11		9,0
3	16:13	16:18	16:20	16:18	16:20		10,0
4	16:21	16:28	16:30	16:26	16:30		10,0
5	16:29	16:38	16:40	16:34	16:40	9,3	11,0
6	16:37	16:49	16:50	16:42	16:51		11,0
7	16:45	17:01	17:02	16:50	17:02		10,0
8	16:53	17:07	17:08	16:58	17:12		

20. ábra: Számítás 6. lépése [saját szerkesztés]

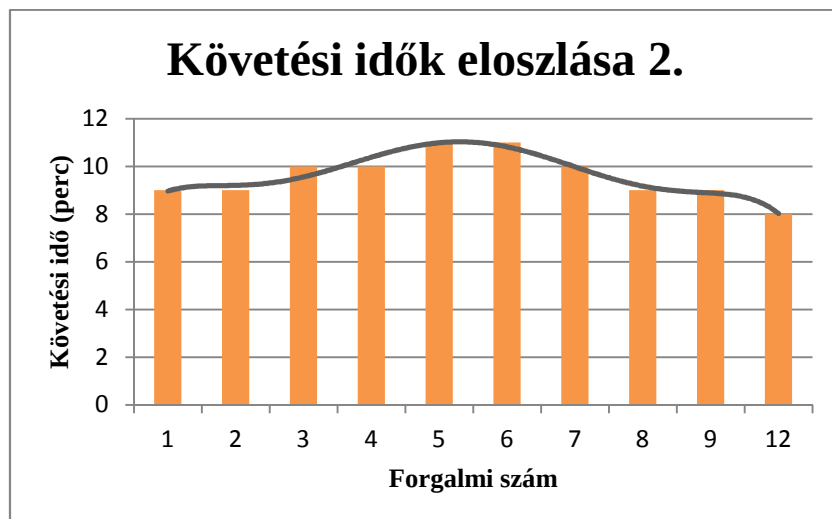
A további lépések folyamán is hasonlóan járunk el, addig, amíg a menetrend szerinti indulás nem teljesíthető. A számítás során figyelembe véve a technológiai időket, a munkaközi szüneteket, és az egyenletes követési időközöket.

A fenti számítások figyelembe vételével az új indítási időpontok a következők:

8. táblázat: Új indítási időpontok – helyes megoldás [saját szerkesztés]

Forgalmi szám	Menetrendi érkezés	Számított érkezés	Menetrendi indulás	Módosított indulási idő	Követési idő
1	15:57		16:02		9
2	16:05		16:10	16:11	9
3	16:13	16:18	16:18	16:20	10
4	16:21	16:28	16:26	16:30	10
5	16:29	16:38	16:34	16:40	11
6	16:37	16:49	16:42	16:51	11
7	16:45	17:01	16:50	17:02	10
8	16:53	17:07	16:58	17:12	9
9	17:01	17:13	17:06	17:21	9
10	17:09	17:18	17:14	*****	-
11	17:17	17:25	MK1		-
12	MK1		17:22	17:30	8
13	17:25	17:31	17:30	*****	-
14	17:33	17:36	17:38	17:38	

Ekkor a követési idők eloszlása az alábbiak szerint alakul:



21. ábra: A követési idők eloszlása helyes számítása esetén [saját szerkesztés]

Látható, hogy a követési idők egyenletesek, az új indítási időpontok megfelelnek az elvárásoknak.

(15) Tényleges időadatok figyelemmel kísérése: az indítási jegyzékben a számított érkezési időpontok ellenőrzése. Ha bármelyik jármű késne, újabb zavarüzenet, az indítási időpontok meghatározása kezdődik előlről.

(16) Eltérés az eddigiekhez képest? NEM Az indítási időpontokat a rendszer nem változtatja.

(17) Munkaügyi szabályok ellenőrzése

(18) Megfelelő? IGEN Munkaügyi szabályt nem sért? NEM

(19) $t = t_0$? Ha elérte az OBU-ra küldés időpontját, akkor a diszpécser jóváhagyása után kikerül az OBU-ra.