

Dinamikus menetrend bevezethetőségének vizsgálata a vasúti közlekedésben.

Készítette:

Ádám Mátyás Végzős építőmérnök hallgató



Konzulens:

Dr. Liegner Nándor okleveles építőmérnök, (BME – UVT)

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
BME Út és Vasútépítési Tanszék**



**Tudományos Diákköri Konferencia
Budapest, 2011. november 16.**

Tartalomjegyzék

Bevezetés	5
Possibility of introduction of dynamic train timetables in Hungary	6
1. Statikus menetrend	7
1.1. Állomások.....	7
1.1.1. Kezdő állomás	8
1.1.2. Végállomás	8
1.1.3. Közbenső állomás.....	9
1.1.4. Fordító állomás	9
1.1.5. Csatlakozó állomás.....	9
1.1.6. Keresztező állomás	9
1.1.7. Megelőző állomás.....	9
1.2. Nyíltvonal	10
1.3. Statikus menetrend számítása	10
1.3.1. Menetdinamikai számítások.....	12
1.3.2. Menetidők meghatározása.....	16
1.3.3. Statikus menetrend szerkesztése	19
2. A statikus menetrend hibái	23
2.1. Egyvágányú vasútvonal zavart menetrendje	24
2.2. Kétvágányú fővonal zavart menetrendje	31
2.3. Statikus menetrend hibáinak összefoglalása.....	36
2.3.1. Csúszó vonatkereszt.....	36
2.3.2. Csúszó vonatmellőzés	37
2.3.3. Másodlagos késések	38
3. A dinamikus menetrend	40
3.1. A dinamikus menetrend számításának alapja	40
3.2. A dinamikus menetrend számítása	42
3.3. A dinamikus menetrend szerkesztése	47
3.4. A dinamikus menetrend szerkesztésének esetei	47
3.4.1. Vonatmellőzés dinamikus menetrend esetén:	48
3.4.2. Vonatkeresztelés dinamikus menetrend esetén.....	49
3.5. A biztosító berendezés korlátozó hatása.....	51
3.6. A menetrend meghirdetése:	54
4. Összefoglalás.....	55

Ábrajegyzék

1.1. ábra: Legkorlátozóbb sebességprofil meghatározása.....	11
1.2. ábra: A tapadási tényező változása a sebesség függvényében.....	12
1.3. ábra: A MÁV hálózaton használt villamos vontatójárművek vonóerő – sebesség jelleggörbéi.....	13
1.1. táblázat: Lassújel okozta menetidő többlet [perc] Személyszállító vonatok menetrend szerinti legnagyobb sebessége: 40 km/h	17
1.2. táblázat: Lassújel okozta menetidő többlet [perc] Személyszállító vonatok menetrend szerinti legnagyobb sebessége: 120 km/h	18
1.4. ábra: Bzmot típusú motorvonat.....	20
1.5. ábra: BDVmot típusú villamos motorvonat.....	20
1.6. ábra: Statikus menetrendben kerülendő vonattalálkozások	21
a, Egyvágányú pályán szembemenesztés	21
b, Egyvágányú pályán vonatutolérés.....	21
c, Kétvágányú pályán szembemenesztés, vagy utolérés esete.	21
1.7. ábra: Ütemes menetvonalak (átlagsebesség közel azonos).....	22
1.8. ábra: Különböző átlagsebességű vonatok által közbezárt kihasználhatatlan holtidők.....	22
2.1. ábra: A Budapest – Esztergom vasútvonal 2011. évi menetrendje zavarmentes állapotban 5:30 – 13:00-ig	25
2.2. ábra: A Budapest – Esztergom vasútvonal 2011. évi menetrendje zavarmentes állapotban 13:00 – 20:30-ig	26
2.3. ábra: A 2013 sz. vonat késésének hatása a menetrendre	27
2.4. ábra: Jelentős 55 perces forgalmi zavar és annak szétterjedése a Budapest – Esztergom vasútvonalon.....	30
2.5. ábra: Üllő állomás végponti útátjárója	31
2.6. ábra: 100a vasútvonal (Budapest – Cegléd) 2011 évi menetrendje	33
2.7. ábra: 100a vasútvonal egy feltételezett baleset következtében kialakuló zavart menetrendje.	35
2.8. ábra: Vonattalálkozás áthelyezése késett vonat miatt.....	36
2.9. ábra: A csúszó mellőzés két esete.	37
2.10. ábra: A balesetet szenvedett Szegedi IC okozta másodlagos és harmadlagos késések a menetrendben.	39
3.1. ábra: Két különböző vontatójárművel továbbított egy azon szerelvény út – Sebesség grafikonja.	41

3.2. ábra: Az elől haladó lassabb szerelvény az érkező gyorsabb vonatra gyakorolt hatása. .	43
3.3. ábra: A számítás kezdeti algoritmusa	44
3.4. ábra: A részletpontok meghatározásához használt algoritmus	45
3.5. ábra: A vonatok mozgásegyenletének megoldásához használt algoritmus	46
3.6. ábra: Vonatmellőzés összehasonlítása dinamikus és statikus menetrend esetén.	48
3.7. ábra: Vonatkeresztezés összehasonlítása dinamikus és statikus menetrend esetén.	49
3.8. ábra: Dinamikus vonatkereszt tervezése a rövid állomásköz kihasználásával.	50
3.9. ábra: Két egymást követő szerelvény mozgásának vizsgálata.....	52
4.1. ábra: Magyarország kétvágányú vasútvonalai	55

Bevezetés

A világon menetrendszerűen közlekedő vasutak mindegyike statikus menetrendeket alkalmaz vonatainak leközelekedtetésére. A menetrendeket nagyon nehéz lenne a mindenkori utasforgalomhoz igazítani, így ezek zömében hosszú évek tapasztalatai alapján alakultak ki. E menetrendek mindaddig megállják helyüket, míg nem lép fel valamilyen forgalmi zavar, esetleg műszaki hiba. A minimális forgalmi zavarokat a menetrend ésszerű és tartalékokkal rendelkező tervezése esetén ki lehet küszöbölni, de ezen lehetőségek összessége sem ad kellő rugalmasságot.

Dolgozatom első részében bemutatom a statikus menetrendet, majd elemzem annak hibáit. Vizsgálatom kiterjed egy forgalmi zavar esetén felboruló statikus menetrendre, s részletesen bemutatom miként áll ismét helyre az eredeti menetrend. Megmutatom, egy-egy jelentősebb késés milyen khatással lehet a szerelvényfordulóra, csatlakozásokra, vonattalálkozásokra.

Dolgozatom második felében, a statikus menetrend hibáira keresek megoldásokat, s ezzel egy időben bevezetem a dinamikus menetrend fogalmát, majd bemutatom mitől is lesz a dinamikus menetrend dinamikus, s jobb elődjénél. A dinamikus menetrendnél fontos kiemelni, hogyan lehet egyszerűen érthetővé tenni az utazó fél számára, hogy ne a forgalmi szituációk alapján kelljen az egyes közlekedési lehetőségekhez alkalmazkodó menetrendet kiválasztania, mert ez az eset inkább hektikus, értelmezhetetlen menetrendet eredményez, mint sem dinamikus. Ezzel egy időben a vasutasok számára is értelmezhető menetrendi struktúrát kell kialakítani, melynek kapcsán új fogalmakat fogok bevezetni, mint például: elágazó menetvonal; dinamikus előztetés, dinamikus vonatkereszt.

Possibility of introduction of dynamic train timetables in Hungary

Static timetables are used all around the world railroads. It would be very hard to adjust the timetables to passenger traffic demand, so it takes many years until these timetables are formed by experience. These timetables can be kept until a traffic problem or a technical failure happens. Minimal traffic disorders can be eliminated with reasonable planning, but this does not give enough flexibility.

In the first part of my essay I present the static timetables, and then I analyze its faults. I also analyze what happens with a static timetable in a traffic problem and how it goes back to normal operation. I show how it affects the whole traffic.

In the second part of my essay I try to find solutions for the static timetables, and I introduce the concept and basis of the dynamic timetable, and explain why it is better than the static. It is important to emphasise how the dynamic timetable can be announced to passengers. At the same time the dynamic timetable should be introduced into the railway operation, such as dynamic train trace, dynamic overtaking, dynamic crossing.

Finally I summarize the benefits of the dynamic timetables and the effects of cost reduction against the static timetable.

1. Statikus menetrend

A statikus menetrendek készítésénél a vasútvonalakat két nagy csoportra bontják fel. Ezek az állomások; és az állomásokat összekötő nyíltvonalak. Ez a két fő csoport további alcsoportokra bonthatók funkcionalitásuk, a telepített biztosítóberendezés, és keresztmetszeti kialakításuk szerint. A menetrend megtervezéséhez először a vasútvonal topológiáját kell megismernünk, majd a biztosítóberendezési kötöttségeket, s ezt követően a vonalon használt szerelvények összeállítását kell figyelembe venni. Röviden tekintsük át a pályaoldali jellemzőket.

1.1. Állomások

Az állomások funkcionálisan az alábbiak lehetnek:

- Kezdő állomás
- Végállomás
- Közbenső állomás
- Fordító állomás
- Csatlakozó állomás
- Keresztező állomás
- Megelőző állomás

Az állomás típusát vasútépítési szempontból a legjellemzőbb forgalmi funkcióval szokás jellemezni, viszont forgalmi szempontból egyszerre több jellemzőnek is megfelelhét, de vonatonként csakis egynek. Erre a legjobb példa Füzesabony állomása, itt halad keresztül a Budapest – Miskolc – Sátoraljaújhely vasúti fővonal, és ehhez csatlakozik két fővonal jellegű mellékvonal: egyik a Füzesabony – Eger – Putnok; mások a Debrecen – Füzesabony vasútvonal.

A Budapest – Miskolc; Budapest – Eger, valamint a Miskolc – Budapest; Eger – Budapest viszonylatában közlekedő vonatok szempontjából Füzesabony egy **csatlakozó** állomás. A Füzesabony – Eger; Füzesabony – Debrecen; Füzesabony – Miskolc személyvonatoknak ez a **kezdő** vagy más néven indító állomásuk. Az előbbi vonatok ellenkező irányú párjainak ez az állomás a **végállomásuk**, vagy vasutas nyelven **feloszlató** állomásuk. Ha a Debrecen – Eger; Eger – Debrecen vonatokat nézzük akkor ez az állomás akár **keresztező** állomás is lehetne, de annak topológiája miatt, a szerelvények csak irányváltás után tudnak tovább haladni, így ez az állomás e vonatoknak **fordító**. Az IC vonatok szempontjából, bár csatlakoznak hozzá vonatok, s a menetrend mindenhol, mindenhová átszállást biztosít, e vonatoknak mégis csak egy **közbenső** állomás, mert az IC-k nem várják be a csatlakozó vonatot, ha az bármilyen okból is késik.

Jól látható a példából, hogy forgalmilag nagyon sokféle lehet egy állomás besorolása. Ha vasútépítésileg nézzük, akkor a példaállomásunk **csatlakozó** jellegű, mert egy kétvágányú fővonalhoz végponton, a fővonal két oldaláról egy-egy mellékvonal csatlakozik be.

1.1.1. Kezdő állomás

Kezdőállomásnak, vagy más néven indító állomásnak hívjuk egy vonat szempontjából azt az állomást ahol a szerelvényt összerendezik, műszakilag felkészítik az útjára (pl: fékpróbát tartanak, előfűtik/hűtik), vonatszámmal látják el. A vonatszámmal rendelt menetvonal kezdőpontja a kezdő állomás, ez alól kivételt képeznek az operatív vonatszámmal közlekedő vonatok, ezek a vonatok a polgári menetrendkönyvben nincsenek meghirdetve, közlekedésük esetleges (különvonat, tehervonat).

Ha a menetvonalban a kezdő állomás egyben fejpályaudvar, vagy egy vasútvonal végpontja, úgy hogy ahhoz másik vonal nem csatlakozik, akkor a vonatok indulási ideje egyedül a menetrendtől függ, ebben az esetben a vonatok nem várnak csatlakozásra.

Ha a vonat kezdő állomása egy vonalnak a közbenső állomásával esik egybe, akkor a vonat elindítása egy, vagy több csatlakozó vonat érkezésétől, az átszállási időtől, és az állomás technológiai időszükségletétől¹ függ.

1.1.2. Végállomás

Végállomásnak hívjuk egy vonat szempontjából azt az állomást ahol a vonat elveszti vonatszámmát, vagyis a menetvonalának vége van. Innentől a járművek összességét már nem nevezhetjük vonatnak, csak szerelvénynek. A szerelvények az állomás területén bonthatók, átrendezhetők, kocsik ki és besorozhatók, az állomásról indítandó vonatok, szerelvény összeállításának megfelelően.

Ha egy vonatnak a végállomása, egyben egy vasútvonal közbenső állomása, akkor ügyelni kell a menetrend tervezésénél, hogy a vonat időben megérkezessen az állomásra, a csatlakozó vonathoz pedig biztosítson kellő átszállási időt. A csatlakozó vonatnak a lehető legrövidebb időt kelljen az állomáson tartózkodnia, az átszálló utasok miatt.

Ha a végállomás egyben fejpályaudvar, vagy egy vasútvonal olyan végpontja melyhez nem csatlakozik másik vonal, akkor a menetrend tervezésénél, figyelembe kell venni a szerelvényforduló idejét, vagyis a szerelvény újbóli elindulásához szükséges időt. Ennek fontosságát a statikus menetrend szerkesztésénél részletesebben is ismertetni fogom.

¹ Technológiai időszükséglet: Itt az állomási biztosítóberendezés kezelésében, a két vonat szabad jelzésének beállítása között szükséges legrövidebb kezelési idő értendő.

1.1.3. Közbenső állomás

Minden olyan állomás mely egy vonat szempontjából a kezdő és végállomás között helyezkedik el, közbenső állomásnak hívunk.

1.1.4. Fordító állomás

Fordító állomásoknak nevezzük egy vonat szempontjából azt a közbenső állomást, mely a kezdő és a végállomás között helyezkedik el, s arról csak a menetirány váltása után tud a vonat továbbhaladni. Itt a menetrendben várakozási idővel kell számolniuk az utasoknak, mely az utazási időt kedvezőtlenül befolyásolja, nem egyszer probléma forrása lehet. Például a vezérlő kocsi elromlik, s emiatt az ingavonatba továbbító mozdonyak körül kell járnia.

Fordító állomást csak olyan vonatok esetében éri meg betervezni, ahol az irányváltás egy nagyobb forgalmi pókkal² esik egybe, s így van idő a fordulási időt betervezni a menetrendbe.

1.1.5. Csatlakozó állomás

Egy vonat szempontjából csatlakozónak tekintjük azt az állomást, melyen másik vonat(ok)ra, vagy vonat(ok)ról lehet átszállni.

1.1.6. Keresztező állomás

Forgalmi szempontból a keresztező állomás nem azonos a vasútépítésben használt fogalommal. Itt nem a mellékvonal – mellékvonal; fővonal – mellékvonal; vagy a fővonal – fővonal keresztezésén kialakult állomást kell elképzelni. Keresztező állomás lehet egy egyszerű vonali közbenső állomás is, de csak egy vágányú nyíltvonali pályákhoz kapcsolódó állomás esetében. Ha az állomás kettő vagy több vágányú nyíltvonathoz kapcsolódik, akkor az nem lehet forgalmi szempontból keresztező.

Egy vonat szempontjából keresztezőnek nevezzük azt az állomást, mely egyvágányú nyíltvonathoz kapcsolódik és ahol az ellenirányból érkező vonattal találkozik.

1.1.7. Megelőző állomás

Forgalmi szempontjából megelőzőnek nevezzük azt az állomást, ahol egy lassabban haladó vonatot a mögötte érkező gyorsabb elmellőzhet.

A menetrend tervezése szempontjából mindig a megelőzés megtervezése a legkényesebb feladat, s egyben ez a statikus menetrendeknek a legnagyobb problémájuk is, késő vonat esetében csak a késést halmozza. Ezzel részletesebben is foglalkozom a statikus menetrendek hibáinak elemzésénél.

² Forgalmi pók: Egy csomóponti állomásra közel egy időben megérkező, és onnan továbbhaladó vonatok forgalmi eseményét, hívjuk forgalmi póknak.

1.2. Nyíltvonal

Az állomásokat összekötő vasúti pályát, hívjuk nyíltvonalnak. A nyíltvonalat lehet vízszintes és magassági vonalvezetésük alapján osztályozni, de lehet a vágányok száma, két állomás távolsága és a nyíltvonalra telepített biztosító berendezés szempontjából is jellemezni.

Forgalom szempontjából a nyíltvonal legfontosabb jellemzője, hogy ellentétes irányban egyszerre csak egy vonat lehet egy pályán. Azonos irányba közlekedő vonatok esetében, egy térközben egyszerre csak egy vonat tartózkodhat. Vagyis ha a biztosító berendezés állomás távolságú közlekedést tesz csak lehetővé, akkor a két egymást követő vonat közül a másodiknak mindig meg kell várnia, hogy az előtte haladó megérkezzen a következő állomásra. Ha biztosítóberendezéssel az állomásközt felosztjuk, akkor a vonal teljesítőképessége nagymértékben növelhető. Nem a leghosszabb állomásköz lesz a legkorlátozóbb a forgalom szempontjából, viszont két vonat között mindig lennie kell egy üres térköznek, de a stabil folyamatos haladás fenntartásához a két szabad térköz a mértékadó. A dinamikus menetrend számításánál ennek okát részletesen is bemutatom.

Ha egy állomásközben kettő vagy több párhuzamos vágány van, akkor az irányok jól szétválaszthatók, az ellenmenetek nem okoznak torlódásokat, forgalmi szempontból vonatkereszteзések nem jönnek létre, - néhány kivételes esettől eltekintve (pl: pályafenntartás miatt az egyik vágány kiesik a forgalomból). Többvágányos nyíltvonal esetében a jellemző forgalmi szituáció a vonatmellőzés.

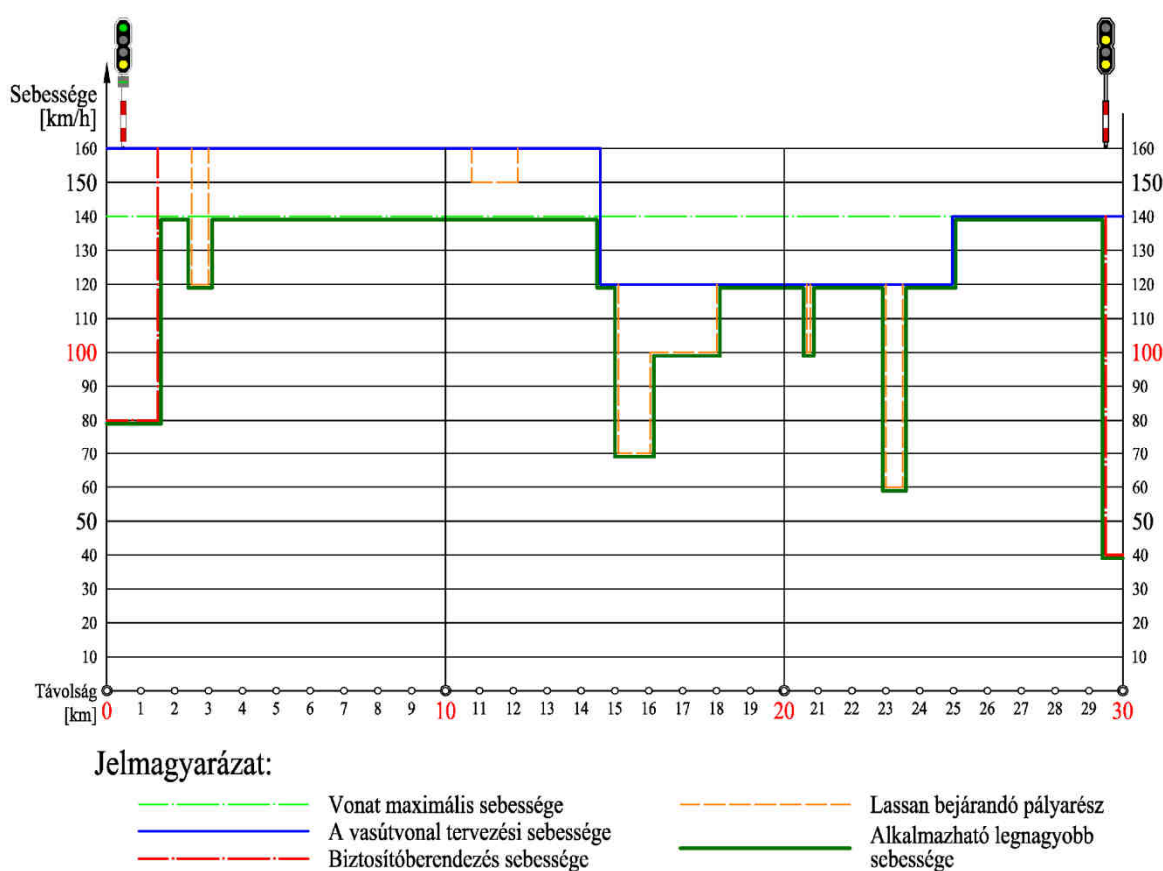
1.3. Statikus menetrend számítása

A menetrend számításához, elsőként meg kell határozni vasútvonalanként alkalmazni kívánt szerelvények összeállítását, a vontatójárművek típusát. Menetidő számítása szempontjából nagyon sokat számít, hogy ugyanazt a szerelvényt egy dízel, vagy villanymozdonynak kell elhúznia, de vontatási nemenkénti típusonként is óriási különbségek adódhatnak. Például egy hat kocsis átlagosnak tekinthető gyorsvonatot egy V43 maximum 120 km/h-ig gyorsíthat, míg egy Taurus (ES64U2) akár 230 km/h sebességre is felgyorsíthatja. A menetidő szempontjából fontos tényező még a szerelvénybe sorozott kocsiknak az engedélyezett legnagyobb sebessége. Egy összeállított vonat szerelvénye, csak addig gyorsítható, míg a legkisebb engedélyezett sebességű kocsit el nem éri. Ez a sebesség a vonatrészéről meghatározott legkorlátozóbb sebesség, vagyis ennél a sebességnél, ha tudna, akkor sem mehetne többel.

Pályaoldalról el kell készíteni, a vasúti pálya ellenállásait összegző grafikonokat. A jellemző és egyben mértékadó ellenállások az emelkedési és ívellenállás. Ezen felül lehetnek még járulékos ellenállások szélteher, a vasúti sín és jármű közötti tapadó ellenállás csökkenése. Az utóbbi jelenség zömében az őszi időszakban figyelhető meg a falevelek hullásával, vagy a

talaj közelében kialakuló magas páratartalom miatt a sínfejen kialakuló filmréteg vastagságú nedvesség következtében. Ugyanilyen tapadást rontó hatás a sínfejre kerülő olaj, vagy a túlhasznált sínek tükörsima felülete, e hatások kerülendők, megfelelő fenntartással elhárítható hibák. Pályaoldali ellenállások közül, csak az emelkedési és ívellenállásokkal szoktunk számolni, a többi nem számottevő nagyságú, vagy kerülendő vontatási határfokot rontó hatású.

A menetidő szükséglet pontos számításához meg kell határoznunk a legkorlátozóbb sebességprofil, amit a szerelvény és a pálya legkorlátozóbb sebességfüggvénye határoz meg. Ez a függvény megmutatja, hogy mekkora maximális sebességet lehet a pálya egy adott szakaszán alkalmazni (1.1. ábra).



1.1. ábra: Legkorlátozóbb sebességprofil meghatározása

Ezen tényezők ismeretében lehet a részletes számításokat elvégezni, a menetidő meghatározásához, s csak ezt követően lehet a menetrend szerkesztését megkezdeni.

1.3.1. Menetdinamikai számítások³

A menetdinamikai számításokkal rengeteg szakirodalom foglalkozik, így az azokban szereplő összefüggések részletes elemzésével nem foglalkozom, viszont a dolgozat érthetősége kedvéért a számítás fontosabb lépéseit röviden ismertetem.

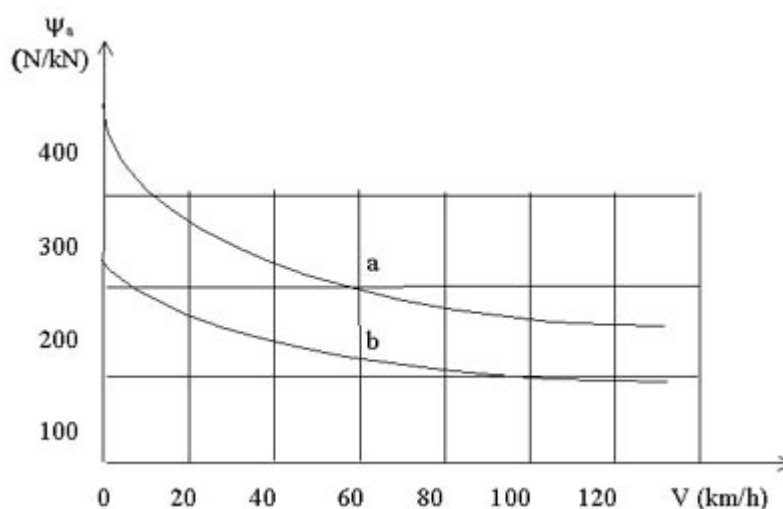
1.3.1.1. Vonóerő – sebesség jelleggörbe

Ez a függvény adja meg, hogy egy adott típushoz, alosztályhoz tartozó vontatójárműnek a sebesség függvényében milyen nagyságú vonóerőt tud kifejteni, s a vonókészüléken átadni. A kifejthető vonóerő maximumát, a **maximális tapadási tényezőtől** (ψ_0), és a vontatójármű tömegéből lehet számítani, az alábbi képlettel:

$$Z_{\max} = \psi_0 \cdot G_m, \text{ ahol}$$

- $Z_{\max} :=$ Maximális indító vonóerő [N];
- $\psi_0 :=$ Maximális tapadási tényező $V := 0$ km/h esetén [N/kN];
- $G_m :=$ vontató jármű tömege kN-ban.

A ψ_0 értéke kísérleti úton határozták meg, melynek határértékeit az 1.2. ábra szemlélteti. Ha megnézzünk egy vonóerő – sebesség diagramot, akkor azt tapasztaljuk, hogy az első szakaszban lineárisan csökken a vonóerő, ez a tapadási tényező változása miatt beépített mesterséges vonóerő csökkentés, annak érdekében, hogy vontatás közben a kerekek ne pördüljenek el. A hajtott kerékpárok megpördülésével a tapadási tényező drasztikusan lecsökken, mely a vonóerő csökkenésével jár együtt, előfordulhat az az eset is, hogy a külső ellenállások nagyobbakra adódnak, ekkor a vonat lassulni fog.

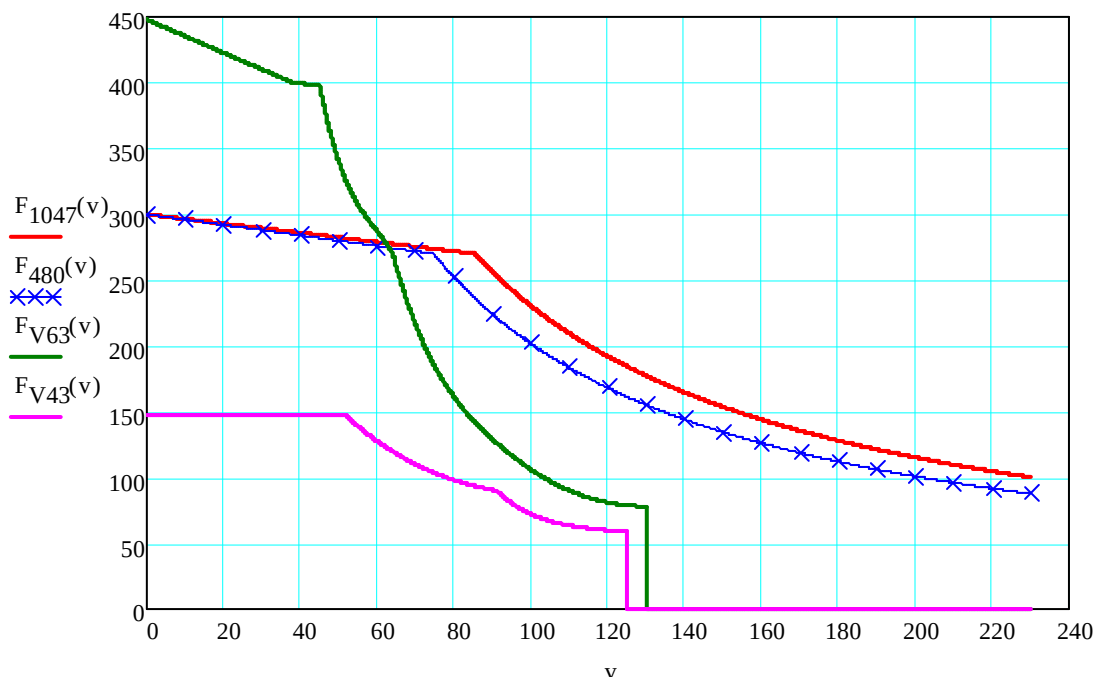


1.2. ábra: A tapadási tényező változása a sebesség függvényében⁴

³ Ebben a pontban ismertetett számításokhoz a Széchenyi István Egyetem (Győr) Vasúti járművek dinamikája című tantárgy jegyzetét használtam fel

A számítások során V_0 -hoz tartozó ψ_0 értékét 360 N/kN-nak szokás felvenni. Ez alapján egy 80t tömegű (V43) vontatójárműnek a maximális indítóereje:

$$Z_{\max} = \psi_0 \times G_m = 360 \frac{\text{N}}{\text{kN}} \times 80\text{t} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 282,53\text{kN}$$



1.3. ábra: A MÁV hálózatan használt villamos vontatójárművek vonóerő – sebesség jelleggörbéi

Az áthatható vonóerő maximumát a csavarkapocs szakító szilárdsága is korlátozhatja. Ez a korlátozó hatás csak több vontató mozdonnyal vontatott szerelvény esetén jelentkezik, hazánkban ez a típusú vontatás nem jellemző, így e korlátozó tényezővel nem is foglalkozunk.

A vonóerő jelleggörbe második szakaszát jellemzően a hajtó motorok maximális teljesítménye határozza meg. Szemléltetés képen a 1.3. ábrán néhány hazánkban jellemzően használt villamos vontatójármű vonóerő - sebesség jelleggörbéjét tüntettem fel.

1.3.1.2. Jármű ellenállásai

1.3.1.2.1 Állandó ellenállások

a) Mozdony ellenállás

A vontató járművek esetében az álló tömegen kívül a forgó tömegeket is fel kell tudnunk gyorsítani, melynek tehetetlenségi ellenállása a sebességgel együtt nő. Ezen felül a jármű meghajtásrendszerében fellépő mechanikai ellenállásokat – más néven súrlódásokat – is le kell győzni. A vontató járművek ellenállása a sebesség függvényében az alábbi képlettel számolható:

⁴ Az eredeti ábra a Széchenyi István Egyetem (Győr) Vasúti járművek dinamikája című tantárgy jegyzetében szerepel.

$$F_{m_ell}(V) = \left(2,5 + \frac{0,067 \times V^2}{100} \right) \times G_m, \text{ ahol}$$

- G_m := vontató jármű tömege kN-ban;
- V := sebesség pillanatnyi értéke km/h-ban.

b) Fajlagos kocsi ellenállás, kocsi ellenállás

Fajlagos kocsi ellenállás, az egységtömegű jármű esetén fellépő mechanikus ellenállások összessége, (pl: gördülési ellenállás; csapsúrlódás...)

Fajlagos kocsi ellenállás számítása:

$$\mu_k(V) = 2,0 + \frac{0,032 \times V^2}{100}$$

A kocsik ellenállását, a kocsi tömegével történő beszorzás után kapjuk meg.

$$F_k(V) = \mu_k(V) \times G_k$$

c) Vonatellenállás

A vonat járműoldali teljes ellenállását az előző két ellenállás összegeként kapjuk meg, azaz $\mu(V) = F_{m_ell}(V) + F_k(V)$.

1.3.1.2.2 Esetleges ellenállások

a) Emelkedési ellenállás

Adhéziós vontatású vasúti pályát 40‰-nél meredekebbre, csak nagyon ritkán, s akkor is csak rövid szakaszon (rohamos emelkedő) szabad építeni. Viszont a 40‰ is olyan kis szögű emelkedőnek minősül, hogy a $\sin \alpha \cong \tan \alpha$ és $\cos \alpha = 1$, ezért a vasúti közlekedésben a jármű tömegéből keletkező lejtő irányú komponens, azaz az emelkedési ellenállás:

$$F_{em} = e \times G, \text{ ahol}$$

- e := az emelkedő előjelhelyes nagysága ‰-ben
- G := a vontatójármű és a vontatmány együttes tömege

A menetdinamikai számítások során a fajlagos emelkedési ellenállással szoktunk számolni, ami az e -vel egyenlő [1 ‰= 1 N/kN]

b) Ív ellenállás

Az ívellenállás az egy tengelyre mereven felsajtott kerékpárok mozgásából ered, mivel az ívben haladáskor a külső kerékpárnak hosszabb utat kell befutnia, mint az ív belső oldalán haladónak, ami a merev kapcsolás miatt lehetetlen, ezért a tiszta gördülés helyett csúszó gördülés fog kialakulni. Könnyen belátható, minél kisebb egy körív sugara annál nagyobb a különbség a külső és belső sínszálon mért ívhossznak, emiatt az ívellenállás mértéke a körív sugarával fordítottan arányos. Tapasztalati mérések alapján az alábbi képletet alkalmazzuk az ívellenállás meghatározására:

$$F_{iv} = \frac{700}{R}, [\text{N/kN}]$$

Jól látható, hogy $R=700\text{m}$ körív esetén 1‰-es emelkedőnek lehet megfeleltetni az ív ellenállását, ilyen kissugarú ívek maximum 120 km/h sebességig lehet betervezni, újépítésű, és átépített vonalaink esetében a minimális tervezési sebesség 160 km/h, melynél a minimálisan alkalmazható körív sugara $R=1400\text{m}$, ami 0,5‰-es emelkedőnek felel meg, ami a menetdinamikai számításokban már elhanyagolható mértékűnek számít.

1.3.1.3. Kifuttatási út

A vonat mozgásának ezen szakaszán a vontató jármű már nem fejt ki vonóerőt, a jármű mozgását csak a külső tényezők befolyásolják. Meredekebb lejtők esetében elképzelhető a szerelvény gyorsulása, vagy állandó egyenletes sebességgel történő haladása, viszont ez nem mértékadó. A számításban jellemzően az ellenállások nagysága miatt a vonat lassuló mozgást fog végezni.

1.3.1.4. Fékút

A menetdinamikai számítások utolsó szakasza, melyben a vonat egy pontban történő megállításhoz szükséges fékezési úthosszat számítjuk. A vasúti járműveknél a tömeg és a súrlódási együttható miatt a fékút sokkal hosszabb, mint a közúti járműveknél ezért a mozdonyvezetőnek sokkal előrelátóbbnak kell lennie.

A fékutat az alábbi összefüggés szerint számíthatjuk:

$$s_{\text{fek}} = 1,5 \times V + \frac{4,25 \times V^2}{1,5 \times B + \mu(V) + e}, \text{ ahol}$$

- V := a vonat sebessége a fékezés megkezdésének pillanatában
- B := fékszázalék
- $\mu(V)$:= a vonat fajlagos ellenállása
- e := a vasúti pálya emelkedése előjel helyesen.

A fékezés mechanizmusa három egymástól jól elkülöníthető szakaszra bontható. Első szakasz a fék működtetésétől, a teljes fékhatás kialakulásáig eltelt idő. Itt a fékezésnek még alig van hatása a jármű mozgására. Második szakasz a kvázi állandó fékerő, ebben a szakaszban a lassulás mértéke majdnem állandónak tekinthető. Harmadik szakasz a fékezés kifuttatása, itt a fékerő fokozatosan kerül csökkentésre, hogy a megállás közeli szakaszban ne csússzon meg a vonat.

Az összetett számítás nem ad pontosabb eredményt a fékút kiszámítására, mint az egyszerűsített, a két számítási mód közötti alig 1%-os eltérést tapasztaltam. Így a későbbi számításoknál, a fent ismertetett képletet alkalmaztam.

1.3.1.5. A vonat mozgásegyenlete.

A menetdinamikai számítások során az alábbi differenciál egyenletet kell megoldani:

$$Z - F_{ell} - F_{fék} - \left[\frac{1000 \times (1 + \gamma)}{g} \times (G_m + G_k) \right] \frac{dv}{dt} = 0, \text{ ahol}$$

- $Z :=$ a sebesség függvényében kifejtett vonóerő nagysága
- $F_{ell} :=$ ellenállások összességének nagysága a sebesség függvényében
- $F_{fék} :=$ fékezőerő
- $g :=$ gravitációs gyorsulás m/s^2
- $G_m :=$ vontatójármű tömege
- $G_k :=$ kocsis vonat tömege
- $\gamma :=$ tömegfaktor

γ értékét különböző tömegfaktorú járműcsoportokból összeállított vonatra súlyozott számtani átlaggal lehet meghatározni:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i \times G_i}{\sum_{i=1}^n G_i}$$

A differenciálegyenlet megoldásaként kapjuk a vonatunk mozgását leíró függvényt, melyből a menetrend szerkesztéséhez szükséges időadatokat lehet meghatározni.

1.3.2. Menetidők meghatározása

A tényleges menetrend szerkesztésében nehézkes és lassú folyamat lenne minden vonatra kiszámítani a menetdinamikát, túl sok a bizonytalan tényező benne. A személyszállításban közlekedő szerelvények összeállítása tervezett fordák szerint történik, viszont a vontatójármű típusa és annak műszaki állapota már előre nem tervezhető. Mint azt korábban már bemutattam nem mindegy, hogy az adott szerelvényt milyen típusú mozdony vontatja. Magyarországon jellemző probléma az is, hogy a villanymotor meghajtású vontató gépek esetében, nem minden vontatómotor üzemképes, vagy műszaki hiba miatt valamelyik villanymotor csak korlátozott áramfelvételre képes, e hibák a vontatási teljesítményt rontják.

A számítások megkönnyítése végett, a vonatokat alapsebességi osztályokba sorolják, pl: 120/120; 160/160; vagy 100/120; 140/160. Az előbbi jelölésekben a számláló értéke azt mutatja meg, hogy a vonathoz rendelt menetvonalnak mekkora a tervezési sebessége, a nevező pedig azt mutatja meg, hogy ha a műszaki feltételek adottak, és a vonat a menetrendhez képes késik, akkor mennyi a legnagyobb sebesség, amit még alkalmazni lehet.

A menetidők számítása során, már előre meghatározott táblázatokból tudunk dolgozni. Az első táblázat a vonat alapsebességéhez (ez általában 5 km/h-s sebességi mezőkre van beosztva),

egyenletes mozgást feltételezve, egyenlő távolságonként (általában 0,5 km-ként) percre kerekített értékben adja meg az út megtételéhez szükséges időt. A számítás biztonságának növelése érdekében, az alapsebességet átlagosan 5%-al csökkenti a táblázat, s ehhez határozza meg az útszakasz befutásához szükséges időt, majd azt kerek percre felfelé kerekíti.

A menetrend számítási segédletének 2. és 3. táblázata a vonat felgyorsulásához és megállításához tartozó időpótlékokat adja meg. E táblázatokat a vonat alapsebessége, és típusa (személy, vagy teher) szerint külön táblázatokba sorolták. A számítás első szakaszában a kiindulási ponttól a megállási pontig úgy számolunk, mint ha megállás nélkül egyenletes sebességgel haladt volna a vonat, s az így adódó időhöz hozzáadjuk a gyorsítási és megállási időpótlékokat. Ezzel megkapjuk a két állomás közötti menetidő szükségletet, ideális körülmények között.

Viszont a számításból nem szabad kifelejtetni a pályahibák, vagy geometriai kötöttségek miatt az alapsebességnél lassabban bejárandó pályarészek okozta menetidő növekedést, melynek értékét a „Lassújel okozta menetidő többlet” című táblázatok foglalnak össze. Ez esetben is a vonat alapsebessége, és típusa szerint kell a használni kívánt táblát kiválasztani, melyből a menetidő többletet a sebességkorlátozás mértéke, és annak hossza alapján lehet meghatározni, melynek értéke szintén hozzá adandó a korábban kiszámolt menetidő értékéhez. Szemléltetés képen a Műszaki Táblázatokban megadott 40, ill 120 km/h alapsebességű személyvonatokhoz tartozó menetidő többlet táblázatokat tüntettem fel.

Sebesség korlátozás, km/h	Lassújel hossza, m														
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
10	1,2	1,6	2,1	2,5	3,0	3,4	3,9	4,3	4,8	5,2	5,7	6,1	6,6	7,0	7,5
20	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,8
30	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0

Sebesség korlátozás, km/h	Lassújel hossza, m														
	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000
10	7,9	8,4	8,8	9,3	9,7	10,6	11,5	12,4	13,3	14,2	15,1	16,0	16,9	17,8	18,7
20	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5
30	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3

1.1. táblázat: Lassújel okozta menetidő többlet [perc]
Személyszállító vonatok menetrend szerinti
legnagyobb sebessége: **40 km/h**

A lassújel okozta menetidő többlet táblázatokban a lassújel hossza kerek 100 méterenként van megadva, viszont a számításokban nem csak a tiszta lassúmenet hossza számít bele, hanem a teljes vonat hossza is, mert a lassan bejárandó pályarész sebességét sem az első, sem az utolsó kocsi sebessége nem haladhatja meg. Tapasztalatok alapján a lassúmenetekre nem lehet pontosan

ráfékezni, azaz a kitűzött pályasebességnél kisebb sebességgel érkeznek meg a vonatok a lassúmenet elejéhez. Így a számítás pontosságának és tartalékidő képzésére a lassúmenet és szerelvény hosszán túl még legalább 100m-t hozzáadnak, s az így kapott eredmény kerekítik fel 100m-re pontos értékre, s ezt követően a táblázatból kiolvasható menetidő többletet kell hozzáadni a szükséges menetidőhöz.

A menetrend stabilitása érdekében, a jelentősebb csomópontok előtt 1-2 perc puffer időt szokás még beépíteni, ill. nagy kihasználtságú vonatok esetében – mint például a nyári balatoni vonatok – az állomási tartózkodási időket is illik megnövelni.

E segéd táblázatok, használatával a vonatok állomásköznkénti menetidő szükséglete gyorsan és jó közelítéssel számítható.

Sebesség korlátozás, km/h	Lassújel hossza, m														
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
10	3,9	4,5	5,0	5,6	6,1	6,7	7,2	7,8	8,3	8,9	9,4	10,0	10,5	11,1	11,6
20	3,5	3,7	4,0	4,2	4,5	4,7	5,0	5,2	5,5	5,7	6,0	6,2	6,5	6,7	7,0
30	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	5,0	5,1	5,3
40	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2
50	2,5	2,6	2,7		2,8	2,9		3,0	3,1		3,2	3,3	3,4		3,5
60	2,2	2,3		2,4		2,5		2,6		2,7		2,8		2,9	
70	1,9			2,0		2,1			2,2			2,3			2,4
80	1,5	1,6				1,7				1,8				1,9	
90	1,2				1,3						1,4				
100	0,8			0,9											1,0
110	0,5														

Sebesség korlátozás, km/h	Lassújel hossza, m														
	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000
10	12,2	12,7	13,3	13,8	14,4	15,5	16,6	17,7	18,8	19,9	21,0	22,1	23,2	24,3	25,4
20	7,2	7,5	7,7	8,0	8,2	8,7	9,2	9,7	10,2	10,7	11,2	11,7	12,2	12,7	13,2
30	5,4	5,6	5,7	5,9	6,0	6,3	6,6	6,9	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0
40	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	6,5	6,7
50	3,6		3,7	3,8		4,0	4,1	4,3	4,4	4,5	4,7	4,8	5,0	5,1	5,2
60	3,0		3,1		3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2
70	2,4		2,5		2,6		2,7	2,8		2,9	3,0	3,1		3,2	3,3
80	1,9		2,0			2,1		2,2		2,3		2,4		2,5	
90	1,4	1,5					1,6			1,7			1,8		
100	1,0						1,1					1,2			
110	0,5						0,6								

1.2. táblázat: Lassújel okozta menetidő többlet [perc]
Személyszállító vonatok menetrend szerinti
legnagyobb sebessége: **120 km/h**

1.3.3. Statikus menetrend szerkesztése

A szerkesztést megelőző lépés a menetidő szükségletek számításának elvégzése, ez alapján tudjuk, hogy az egyes vonatok hogyan fognak egy vonalon végigmenni. Viszont a szerkesztés megkezdéséhez egy vonatfontossági sorrendet kell felállítani. A menetrendben nagyon nem mindegy, hogy egy Nemzetközi EC-nek kell egy személyvonatra várnia, vagy a személyvonat vár az EC-re. Az utasok azt várják el a menetrendtől, hogy ha ők hosszú távon, vagy kiemelt szolgáltatási színvonalat nyújtó vonaton utaznak, akkor a lehető legrövidebb legyen az utazási idejük. Vagyis a vonatfontossági sorrend nem más, mint a vonatok menetrendi szolgáltatási színvonala alapján történő rangsorolás.

Vonatfontossági sorrend:

- Nemzetközi EC; IC; (RJ)
- Belföldi IC;
- Nemzetközi gyorsvonat;
- Belföldi gyorsvonat;
- Szerelvény menet;
- (Irány tehervonat);
- Zónázó vonat;
- Személyvonat;
- Nemzetközi, vagy irány tehervonat;
- Gyorstehervonat;
- Tehervonat;
- Kiszolgáló, vagy más néven tolatós tehervonatok.

A menetrend összeállításánál ezen felül, jó pár szerkesztési szabályra is figyelniünk kell a menetrend fennakadásmentes lebonyolításához. S egyben ügyelni kell arra is, hogy a vonatok a lehető leghatékonyabban legyenek kihasználva. Itt nem az utas oldali kihasználtságot kell érteni, hanem a szerelvénymenetek csökkentésére és az indokolatlanul hosszú állásidőkre a végállomáson. Akkor nevezhető a menetrend optimálisnak, ha a menetrendbe beosztott vonatok szinte folyamatosan úton vannak, s nem a végállomáson pihennek 1,5-2,5 órát. Az állásidőnek maximálisan az alapszintű karbantartások (kocsi rendezés; takarítás; fékek ellenőrzése) idejére kell korlátozódni. Gondoljunk csak bele, mekkora felháborodás lenne abból Pesten, ha a drága pénzen vett COMBINO villamosok valamelyik végállomáson ácsorognának.

A vasúti közlekedésben a végállomásokon a szerelvény megfordulásának időszükséglete egészen más, mint a városi közösségi közlekedésben, egy menet alkalmával, jóval hosszabb utat futnak be, és jóval nagyobb sebességgel. Ezért az elvégzendő ellenőrzések, és forgalomba helyezés jóval hosszabb időt vesz igénybe, mint egy villamos közlekedésben, még az újonnan beszerzett motorvonatok esetében is. Ennek legfőbb oka a levegős fékrendszer üzembe helyezése és működésének leellenőrzése. A menetrend megszerkesztésében óriási hibát vét az, aki a

végállomási szerelvényfordulót zárt⁵ szerelvény esetében a villamos közlekedésben tapasztalható fordulási időkhöz méri.

Fordulóidő mozdonyvonatok esetében körüljárással kb. 20-25 perc, de ez nagymértékben függ az állomás biztosítóberendezésétől, az átmenő forgalomtól, és természetesen az állomás topológiájától. Motorvonatok, ingavonatok esetében 3-15 perc az irányváltáshoz szükséges idő, itt az idő szükséglet nagymértékben függ a szerelvény hosszától, az újbóli elindulás előtt elvégzendő műszaki ellenőrzések nagyságától. Nem mindegy, hogy egyszerűsített, vagy teljes fékpróbát kell elvégezni. Például egy Bz (1.4. ábra) típusú motorkocsi esetében a 3 perc bőven elég a szerelvény irányváltásához. Viszont egy csatolt BDVmot (1.5. ábra) esetében kb 1,5 perc szükséges az első vezetőállás lezárásához, kb. 4-5 perc a két vezetőállás megcserélése, ebben a fázisban érdemes a szerelvényt szemrevételezéssel ellenőrizni. Az új vezetőállás felnyitásához kb 1,5 perc kell, csak a légsűrítő újbóli beüzemelése és feltöltése (kb. 1 perc) után kezdődhet meg a szerelvény fékpróbája, mely teljes fékpróba esetén kb. 5 perc. Tehát a fordulási időszükséglet csatolt BDVmot esetében $\Sigma=1,5+5+1,5+1+5=14$ perc.



1.4. ábra: Bzmot típusú motorvonat

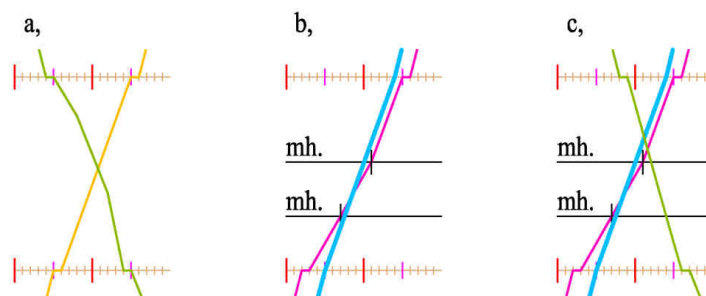


1.5. ábra: BDVmot típusú villamos motorvonat

A menetrend szerkesztéséhez a vasúti pályát két nagy csoportra bontottuk, az állomásokra, és a nyíltvonalra. Ha a nyíltvonal egyvágányú vasútvonal, akkor a menetvonalak csak és kizárólag az állomásokon metszhetik egymást, mivel itt tudnak egymás útjából kitérni a vonatok (1.6. a, és b, ábra). Kétvágányú vasútvonalnál az ellenirányba tartó vonatok találkozhatnak a nyílt vonalon is, mivel a két forgalmi iránynak külön vágánya van. Viszont az azonos irányba tartó vonatok menetvonalai nem metsződhetnek a nyílt vonalon, ha az érintett vonatoknak az állomásközből ellenirányból közlekedő vonattal van metszésük (1.6. c, ábra). A menetrend szerkesztésében, ügyelni kell arra is, hogy vonattalálkozásnál a félreállítani kívánt vonatnak kellő puffer időt biztosítsunk az állomásra történő behaladáshoz, annak érdekében, hogy az

⁵ Olyan szerelvényeket hívunk zárt szerelvénynek, melyek a végállomásra érkezés után a szerelvény megbontása nélkül alkalmasak vonatként ellenirányú közlekedésre. (pl: motorvonatok; ingavonatok)

ellenvonatot ne kelljen az állomási bejáratnál megállítani. Ez ugyanis többlet menetidőt eredményez, s egyben többlet energia felhasználást, ami kedvezőtlen és kerülendő eset.

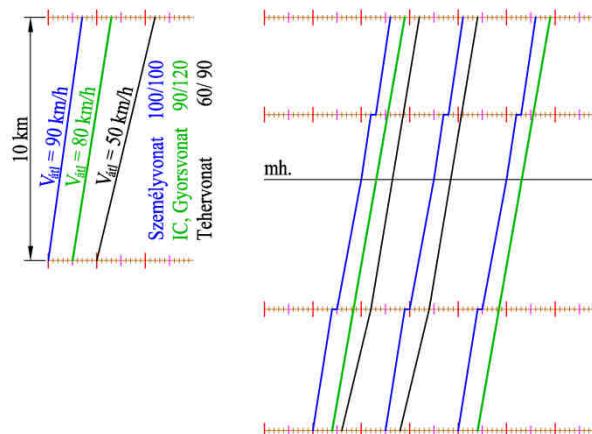


1.6. ábra: Statikus menetrendben kerülendő vonattalálkozások
a, Egyvágányú pályán szembemenesztés
b, Egyvágányú pályán vonatutolérés
c, Kétvágányú pályán szembemenesztés, vagy utolérés esete.

A mai menetrendektől már elvárás a jól követhető ütemességet, azaz minden óra azonos időszakában induljanak a vonatok az állomásról (2.1. ábra). A menetrend strukturális felépítésében elsőként a Nemzetközi EC és IC, valamint belföldi IC vonatok közlekedésének rendjét határozzuk meg. Ügyelve arra, hogy az ellenirányból közlekedő EC és IC-vel lehetőleg egy nagyobb csomóponti állomáson találkozzon (pl: Győr; Székesfehérvár; Dombóvár; Miskolc...), annak érdekében, hogy a mellékvonalról érkező és oda tartó utasokat egy ütemben lehessen kiszolgálni. Azaz ne kelljen a két vonathoz kettő mellékvonalról(-ra) közlekedő járatot biztosítani, mert az a járatok utas oldali optimális kihasználtságát csökkenti, nem beszélve a többlet járműigényről, s az ezzel járó költségekről.

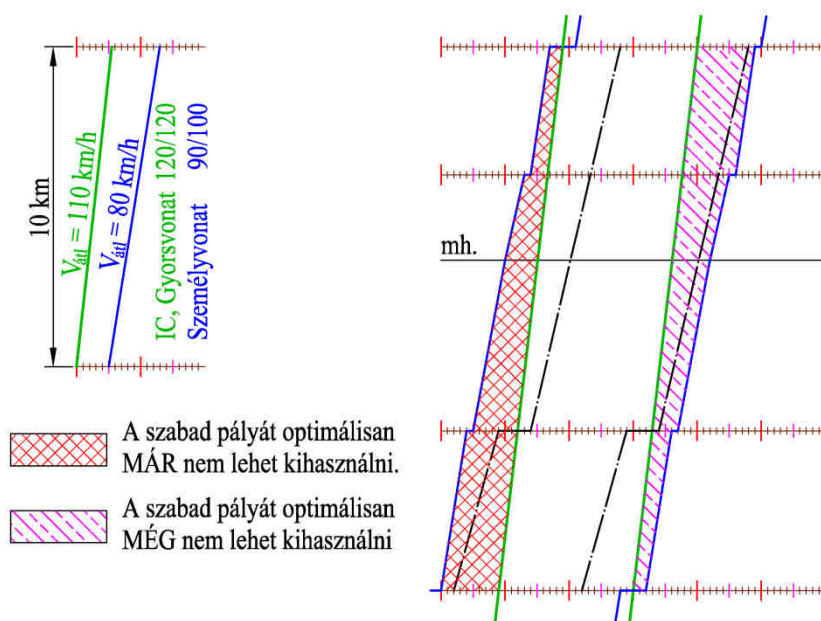
Ha a fővonalakra elkészítettük a nyers, vázmenetrendet, érdemes azt is megvizsgálni, hogy a két fővonalat összekötő mellékvonal esetében, a csatlakozástól csatlakozásig történő utazás kivitelezhető-e. Ha nem akkor valamelyik fővonal menetrendjét időben el kell tolni, annak érdekében, hogy a mellékvonal kihasználtságát tovább lehessen optimalizálni.

A menetrendi váz véglegesítése után lehet vonatfontossági sorrendben strukturálisan a menetvonalakat kiosztani.



1.7. ábra: Ütemes menetvonalak (átlagsebesség közel azonos)

A vasútvonalak kihasználtsága, azaz kapacitásuk abban az esetben a legnagyobb, ha az ott közlekedő vonatok átlagsebessége közel azonos (1.7. ábra), így a menetrendben nem kell a vonatok mellőztetésével (előztetésével) számolnunk. A pálya kapacitás számítás szempontjából, ebben az esetben nem jelent problémát egy gyorsan és egy lassan haladó vonat között keletkező holt idő, amit a forgalom nem tud kihasználni (1.8. ábra). Jól tükrözi ezt az elvet a Budapesti elővárosi közlekedésben a Budapest – Szolnok vasútvonal menetrendje, ahol az IC és gyorsvonatok menetrendje mesterségesen van lassítva, hogy az elővárosi vonatok közé beférjenek. Bár ez az elv egy vasútvonal kapacitásának szempontjából kedvező, de az eljutási időket kedvezőtlenül befolyásolja. S az elővárosi vonatok menetrendjének felborulása esetén, az a távolsági közlekedésre is kihatással van, mely további csatlakozó vonalak menetrendjének zavarát okozhatja.



1.8. ábra: Különböző átlagsebességű vonatok által közbezárt kihasználhatatlan holtidők

2. A statikus menetrend hibái

A jelenleg használt menetrendeket azért nevezzük statikusnak, mert azok egy előre definiált metódus szerinti közlekedést valósítanak meg. Az előre meghirdetett menetrendnél korábban vonat nem közlekedhet, a menetrendtől csak módosított menetrendek alkalmazása esetén lehet eltérni (pl: vágányzári menetrend), csak abban az esetben, ha azt bevezetése előtt a vasúttársaságok időben közzé tették, és arra leendő utasaik figyelmét felhívták.

A statikus menetrend legnagyobb problémája a teljes rugalmatlanság. Egy pontban keletkező jelentősebb forgalmi zavar hatása, és annak szétterjedése a vasúti hálózatban pont olyan, mint egy sima vízfelületű pocsolyába ejtett kavics. A zavar nagysága a vízbe ejtett kavics méretével egyenes arányban áll, a kavics által keltett hullám nagysága a vonatok menetrendtől való eltérését (késést) szimbolizálják. Ha megfigyeljük a vízfelszínen tovaterjedő hullámokat, akkor azt vehetjük észre, hogy a keletkezésük pontjától távolodva méretük egyre kisebb lesz, míg a végén teljesen el nem simulnak. Viszont ha a keltett hullám mértéke olyan nagy, hogy a vízfelszín szélét eléri akkor onnan visszaverődve, újabb hatásokat generálnak.

A szemléltetett példa alapján jól érzékelhető, hogy a statikus menetrendben keletkező zavar mértéke, és a menetrendszerű közlekedés helyreállításához szükséges idő attól függ, hogy a késések mennyire terjednek szét a hálózaton, s a vonatok végállomásának szerelvényfordulóit mennyire befolyásolják. Az is könnyen belátható, hogy egy jelentősebb, például biztosító berendezés meghibásodása, a kijavításig zavart generál, s ennek mértéke akár olyan nagy is lehet, hogy egy teljes nap alatt sem áll helyre a közlekedés menetrendszerűsége.

A statikus menetrendek másik nagy problémája, hogy mindig egy adott pályaállapothoz számítják ki. A menetrendi időszakban történő pályaromlást, vagy a felújítás hatását nem tudja számításba venni. Sajnálatos mód Magyarországon évről évre drasztikus mértékben romlik a vasúti pálya állapota, s gombamód szaporodnak a kitűzött lassúmenetek. A menetrendben kialakuló úgynevezett csúszó késéseknek, a legfőbb oka a pályaállapot, s ennek legnagyobb áldozatai a mellékvonalak. A fővonalak tervszerű karbantartásainak elmaradása miatt nincs vissznyeremény, melyből a mellékvonalakat lehetne karbantartani, s emiatt több vonalon is az alkalmazható sebesség nem éri el a tervezési sebesség 50%-át sem. A pályaállapot romlása a vasútvonalak kapacitását rontó hatású, mely a szolgáltatási színvonalat csökkenti, s ezzel egy időben a versenyképesség is romlik.

Dolgozatomnak nem témája a vasúti hálózat állapotának elemzése, viszont a dinamikus menetrend számításának fontos tényezője lesz, így a pályaállapot menetrend kölcsönhatására ott fogok részletesen kitérni. A statikus menetrend hibáinak szemléltetésére vizsgáljuk meg, milyen

hatással van egy forgalmi zavar, először egy egyvágányú állomástávolsági közlekedésre, majd másodikként egy kétvágányú térközökre osztott vasútvonal menetrendjére.

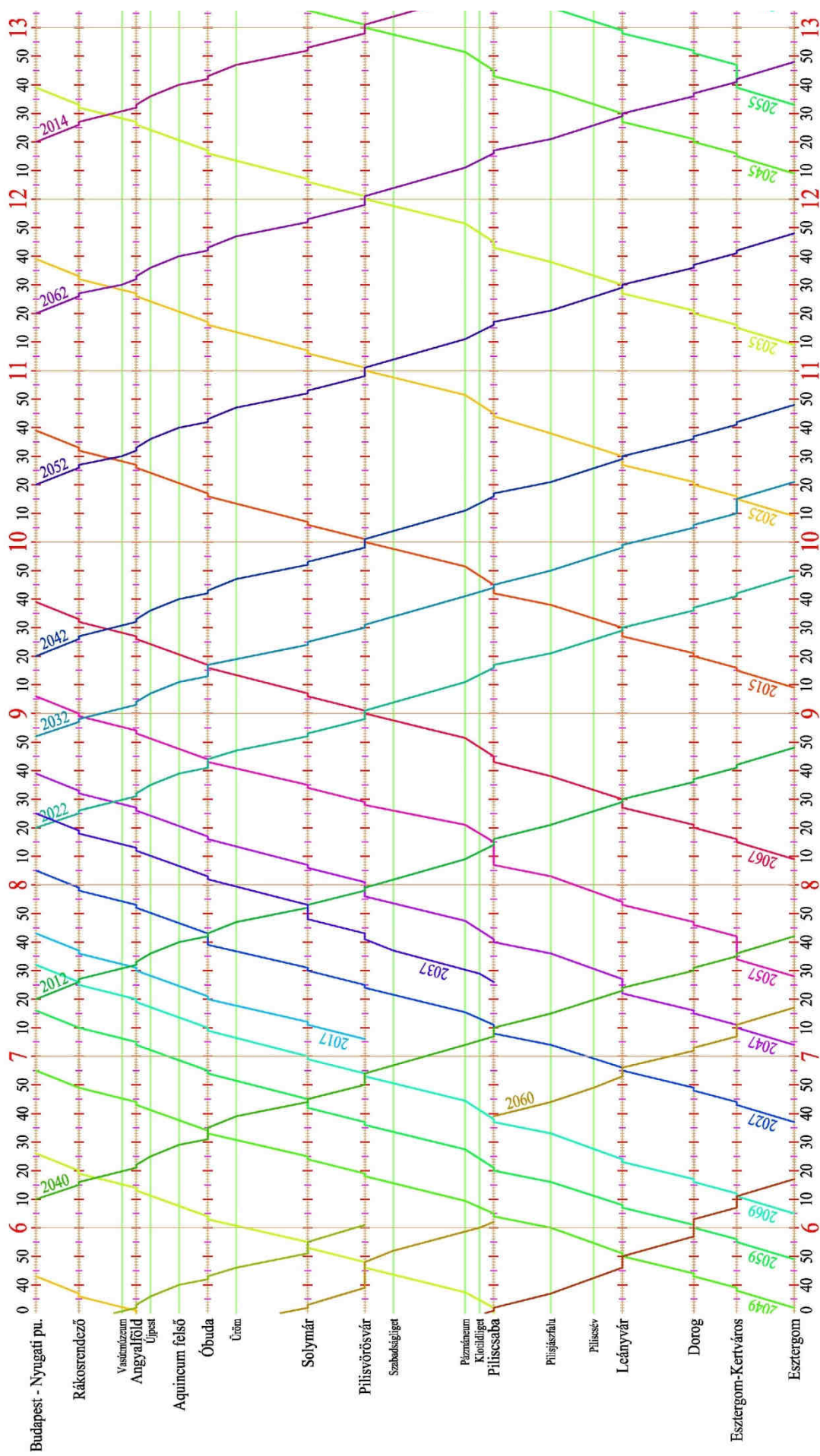
2.1. Egyvágányú vasútvonal zavart menetrendje

Számításaimhoz a jelenleg legnagyobb forgalmat bonyolító, egyvágányú, dízelüzemű és nagy állomástávolságú Budapest – Esztergom vasútvonalat választottam. Ez a vonal jellegzetesen tele van, kapacitás szempontjából szűk keresztmetszetekkel. A kissugarú ívek miatt a hegyi szakaszon maximum 50 km/h sebességet lehet csak alkalmazni. Ehhez társulnak még a pályasebességhez képest hosszú állomásközök, további nehézség még a biztosítóberendezés korlátozottsága, mely állomásközi közlekedést tesz csak lehetővé. Azaz egy állomásközben, egy irányban, legfeljebb egy vonat lehet úton. E vonal esetében a legkisebb forgalmi zavart, akár órákkal később is késéseket okozhat a menetrendben.

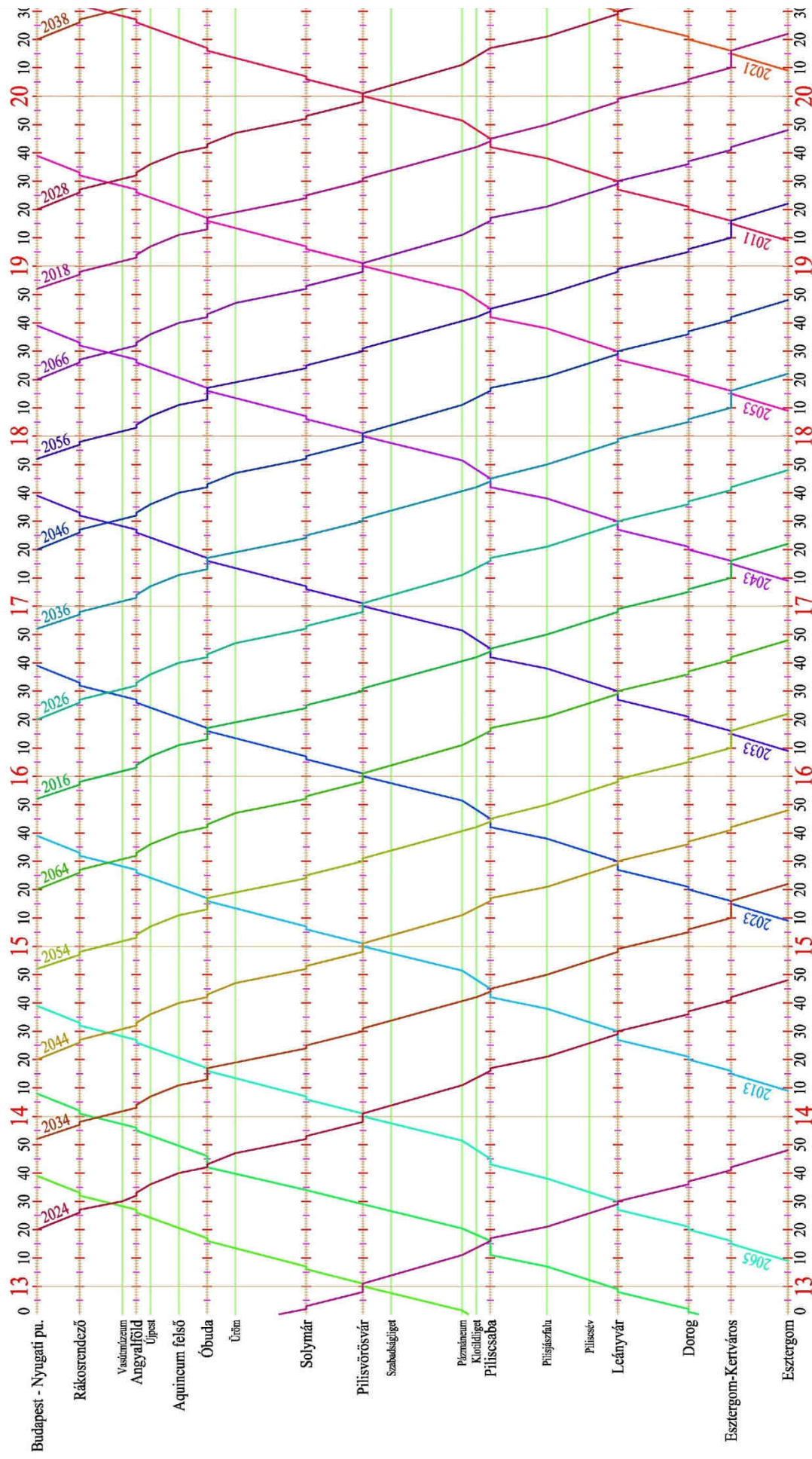
Bár a vonal fejlesztésére a tervek már elkészültek, s ha minden jól megy a felújítás és átépítés 2012-ben elkezdődhet, melynek következtében a vonal szolgáltatási színvonala nagymértékben megnő, zavarérzékenysége lecsökken. Viszont jelen állapotában ezen a vonalon lehet a legjobban szemléltetni statikus menetrendben a zavart állapot szétterjedését egy vonalon belül. A 2.1 és 2.2 ábrákon a vonal 2011. évi grafikus menetrendjét tüntettem fel.

Az ábrákból jól kitűnik, az ütemes hálós menetrend. Jól kivehető, egy vágányú pálya esetében a vonatok találkozásánál, az egyik vonat a másik előtt befut az állomásra, s vár a szemből érkezőre. A 2-3 perces várakozási idő vonat találkozásnál még nem vészes, és az utasoknak is elviselhető mindaddig, míg az menetrend szerint történik. Viszont egy szemből érkező vonat késése esetén, az eredetileg menetrend szerint közlekedő, csak késve fog tudni elindulni az állomásról, s késve fog tudni csak közlekedni, hacsak a menetrendbe épített puffer idő felhasználásával, újra nem sikerül az eredeti menetvonalára visszakerülni. Ha a vonathoz tartozó menetvonal nagyon ki van feszítve, akkor a késésből nem fog tudni lefaragni, ebben az esetben, ha további keresztező vonatokkal találkozik, azoknak is továbbadja késését.

A menetvonalak hálós szerkezetét végignézve, ha egyetlen vonat csúszásának késését tovább adjuk, akkor az szinte végig fog vonulni a napi menetrendben, azaz a tényleges menetrend nem más lesz, mint a tervezettné a hálója x késés távolságba eltolva. Természetesen ez nem állja meg a helyét egy egész napi menetrendben, ez csak akkor lenne igaz, ha a háló egyenletes sűrűségű lenne. E logikát követve a menetrendszerű közlekedés helyreállítása nagyon lassú lefolyású lenne, de e megoldás mellett a szerelvényfordulók nem borulnak fel, mindent a tervezett szerint lehet kivitelezni.

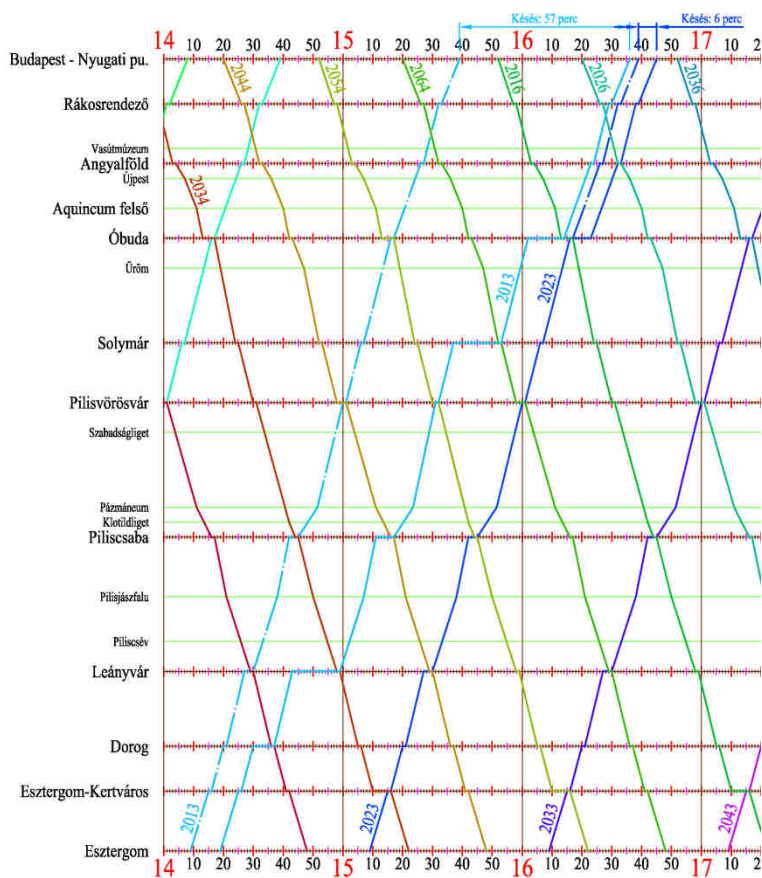


2.1.1. ábra: A Budapest – Esztergom vasútvonal 2011. évi menetrendje zavarmentes állapotban 5:30 – 13:00-ig



2.2. ábra: A Budapest – Esztergom vasútvonal 2011. évi menetrendje zavarmentes állapotban 13:00 – 20:30-ig

Tételezzük fel ez a zavar az Esztergomi vonal esetében a déli órákban jelentkezett, és a délutáni csúcs végére szűnik meg a vonatok késése. A késésben érintett vonatok egy esetben sem késtek 10 percnél többet, az átlagosnak vehető késés vonatonként pedig 6 perc volt. Ez vonatonként szinte jelentéktelen késésnek számít, s az utasok számára is elviselhetőnek számít. Viszont ha azt nézzük, hogy a Budapest – Esztergom vonalon egy munkanapon 56 vonat közlekedik, s ebből 12 és 19 óra között 29 vonat van úton, akkor az azt jelenti, hogy a vonatok $29/56 = \underline{51,8\%}$, azaz több mint fele késett az adott napon. A késéseket összegezve a vonal napi késése $29 \times 6 \text{perc} = \underline{174 \text{perc}}$, ami 2 ó 54perc. Ez a statisztikai érték teljes mértékben elfogadhatatlan, egy vasútvonal napi statisztikájában.



2.3. ábra: A 2013 sz. vonat késésének hatása a menetrendre

szempontjából a legjobb megoldás.

Sajnálatos mód, amikor egy forgalmi szolgáltatóval helyben kell eldönteni, melyik megoldást választja, nem láthatja előre, hogy annak milyen következményei lehetnek később. Ha megnézzük az Esztergomból 14:09-kor induló 2013 számú vonatot, akkor az útja során 4 vonattal fog állomáson keresztezni, és 1-el már a kétvágányú Angyalföld – Budapest Nyugati pu. vonalszakaszon találkozik. Tételezzük fel, hogy egy napon a vonat műszaki okok miatt csak 10 perc késéssel tud elindulni. Ez tényleg nem jelentős, de nézzük meg a 2.3 ábrán

Az Esztergomi vonalhoz hasonló vasútvonalak esetében a menetrend helyreállításának másik megoldása, hogy a menetrend szerint közlekedő vonatokat megpróbáljuk menetrend szerint leközlekedtetni, s a késő vonatokat félretesszük, várakoztatjuk a keresztre, ha az nem érne el a következő állomásra az ellenirányú vonat előtt. Utas szempontjából ez egy nagyon kedvezőtlen eset, egy eleve késő vonatot további késéssel halmozni, esetleg emiatt csatlakozást mulasztani, a legrosszabb megoldás. Viszont menetrendileg, talán ez a megoldás a késések

miként fog alakulni a menetrendje, ha a keresztekre a 2013 vonatot várakoztatjuk. Az ábrán pont vonallal jelöltem az eredeti menetrendet, és folytonos vonallal a ténylegest. A vizsgált vonat a másodikként említett elvvel a 10 perc késéshez még további 47 percet szedett össze, így 57 perc késéssel érkezik meg a végállomásra. Ez a késés már oly mértékű, hogy a követő 2023 számú vonatot is feltartja menetrendjében, ami 6 perc késéssel tud csak megérkezni a végállomásra. Ez a megoldás összességében $57+6 = \mathbf{63perc}$ késést eredményezne a vonal menetrendjében, ha az a végállomási szerelvényfordulóra nincs kihatással.

Ha a 2013 vonatból kerül kialakításra a 2026 sz. vonat, akkor a szerelvény a menetrendszerinti indulása után 16 perccel érkezik meg. Ha a fordulási időre csak 10 percet számolunk, akkor a 2026 sz. vonat $16+10 = \mathbf{26 perc}$ késéssel tud csak elindulni, amit a 2036 sz. vonat 6 perccel később követ. Így az ellenmenet során biztosan feltartja a menetrendjében. A két vonat szerelvényét felcserélve, kaphatunk jó megoldást, de akkor az Esztergomi fordulásnál lehetnek problémák a két szerelvény visszacseréléséből, hogy a karbantartási ciklus ne boruljon fel (pl: tankolás). A másodikként említett menetrendszerű közlekedés helyreállítása, olyan bizonytalanságokat tartalmaz, aminek következtében, egy eredetileg 10 perces késésnek indult forgalmi zavarból, a vonal egésznapjára számított késés 20-30 perctől akár több óra is lehet, a szerelvényfordulók alakulásának függvényében.

Egy késő menetrend helyreállítására a legjobb megoldás a két módszer ötvözése, annak érdekében, hogy a szerelvényfordulók lehetőleg ne boruljanak fel. Nézzük meg erre azt az esetet, mi történik, ha a 2055 sz. vonat a nyílt vonalon műszaki hiba miatt megáll Üröm megállóhely közelében. A hibát sikerül helyben elhárítani, s a vonat 55 perc késéssel tovább tud közlekedni (2.4 ábra). Ilyen nagymértékű forgalmi zavar esetén, a menetrendben 3 jól elkülöníthető rész figyelhető meg:

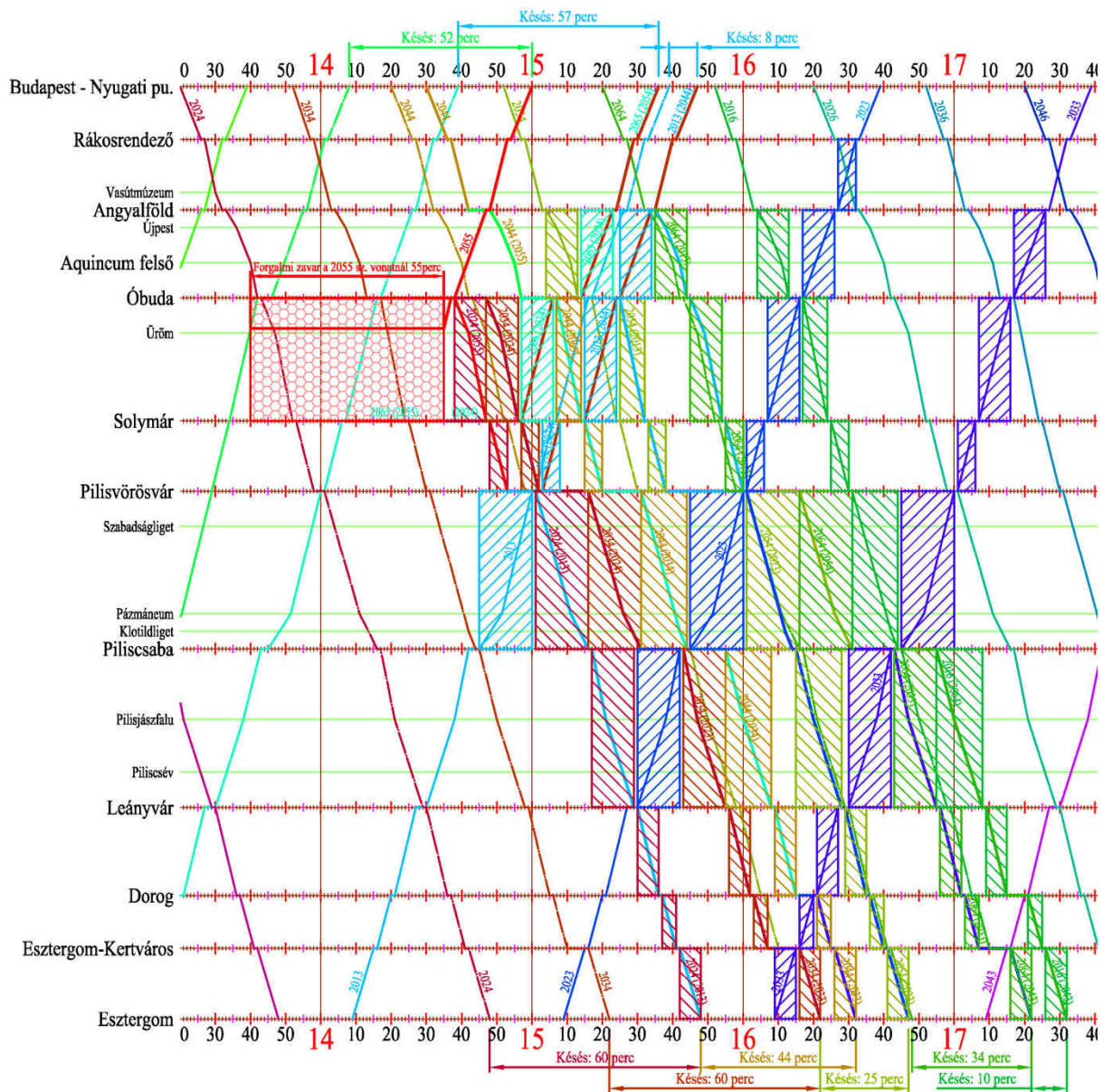
1. *Forgalmi zavar keletkezése:* Ebben a szakaszban két állomás között a nyíltvonal lezárásra kerül, a zavar, hiba okának tisztázásáig.
2. *Vonatok feltorlódása:* Ez idő alatt a problémás vágányszakasz még a forgalomból ki van zárva, a menetrend szerint érkező vonatok az állomásokon folyamatosan gyűlnek fel, a forgalmi szolgálattevőknek ügyelni kell arra, hogy egy vágány mindig szabadon maradjon!
3. *Vonatforgalom megindulása:* Ebben a szakaszban felszabadul a pálya, és újra megindulhat a forgalom. Itt mérlegelni kell a szerelvényfordulók szempontjából melyik irány élvez elsőbbséget, de arra is figyelni kell melyik irányból torlódott fel több vonat, és melyik irányba utaznak többen.

Jól látható, hogy az Esztergomi vonal esetében a legszűkebb és egyben legkorlátozóbb vonalszakasz a Pilisvörösvár – Piliscsaba rész lesz. Ez nem véletlen, mert ez az egyik leghosszabb állomásköz, ezen felül három közbenső megállóhely van. A hegyvidéki jellegű vonalvezetés miatt ezen a szakaszon szinte végig 50 km/h a maximálisan alkalmazható sebesség. Ezért a forgalmi torlódás végéig valamelyik irányból folyamatosan foglalt lesz az állomásköz.

A tervezett menetrend ábrájából jól látszik, hogy a vizsgált eset idején a kiemelt közlekedési irány a Budapest Nyugati – Esztergom viszonylat, ezért törekedni kell arra, hogy a szerelvényforduló felborulása nélkül lehessen biztosítani a vonal kiszolgálását, így a vonatok közlekedésében elsődleges szempont: az Esztergomból érkező vonatok késésének minimalizálása. Viszont a Budapestről érkező vonatok nagy valószínűséggel, utasokkal jobban terhelt, így ennek az iránynak kell elsőbbséget élveznie a pálya felszabadulása után.

Az ábrán a jó láthatóság érdekében a vonat által foglalt állomásközöket sraffozással jelöltem a vonat irányának megfelelő dőléssel. Az ábrából jól megfigyelhető a késés szétterjedése, és az is, hogy az 55 percet megkéső szerelvény után 3 órával is érezhető hatása van. Ilyen mértékű késések helyreállításánál, csak is a forgalmi szolgálattevő józan ítélőképességén múlik, milyen hamar sikerül a menetrendszerű közlekedést újra garantálni. Egyetlen menetrendtervezés sem képes ilyen méretű hibát kezelni, de vannak olyan sarkalatos szegmensei, amit a dinamikus menetrend sokkal jobban le tud kezelni, és döntési folyamatokban segít, a statikus menetrendhez képest.

Az Esztergomi vonal szinte szigetüzem, mert hozzá kevés vonal csatlakozik, így a keletkező zavart a vonalon belül lehet kezelni. A következő részben nézzük meg, mit eredményez egy hasonló eset egy nagyforgalmú fővonal esetében, ahol a csatlakozó vonatok száma már nem elhanyagolható.



2.4. ábra: Jelentős 55 perces forgalmi zavar és annak szétterjedése a Budapest – Esztergom vasútvonalon

2.2. Kétvágányú fővonal zavart menetrendje.

A Magyarországi kétvágányú fővonalakon szinte kivétel nélkül önműködő térközi biztosító berendezéssel van telepítve, talán ez alól az egyetlen kivétel a Miskolc – Sajószentpéter vasútvonal, ahol csak a két irány lett egy-egy vágányra szétválasztva, s vágányonként maradt az állomástávolságú közlekedés.

Az önműködő térközjelzőkkel felszerelt vonalaknak a legnagyobb a kapacitása, és zavar esetén, e vonalakon lehet biztosítani a menetrend helyreállítását a legrövidebb idő alatt, mert egy állomásközből egy irányba egyszerre több vonatot is lehet közlekedtetni, forgalmi szempontból, nem a leghosszabb állomástávolság lesz a legkorlátozóbb, hanem a szerelvényfordulók és csatlakozó vonalak menetrendjének felborulása.

Annak érdekében, hogy jól szemléltethető legyen a menetrend helyreállításának folyamata, a legforgalmasabb Budapest – Cegléd – Szolnok vasútvonalon, egy véletlen baleset és annak menetrendre gyakorolt hatását szimuláltam. A 2.6 ábrán a vasútvonal 2011-es évre megtervezett menetrendjének grafikus változatának egy részlete látható. A reggeli csúcsban szinte egymást érik a vonatok. Cegléd irányából Budapestre, reggel 5:00 és délelőtt 10 között például lehetetlen lenne egyetlen egy tehervonatot is leközlekedtetni. Az is jól látható, hogy egyetlen vonat jelentéktelennek számító 5 – 10 perces csúszó késése teljesen felboríthatja a reggeli menetrendet, vagy további késéseket fog összeszedni.



2.5. ábra: Üllő állomás végponti útátjárója⁶

A szimulált baleset az IC710 számú vonatot éri. Üllő állomás végponti végén található útátjáróban (2.5 ábra) szabálytalanul áthaladó gépjárművet gázol, s a vontatójármű szolgáltatképtelenné válik. A baleset következtében a műszaki mentés végéig mindkét vágányt le

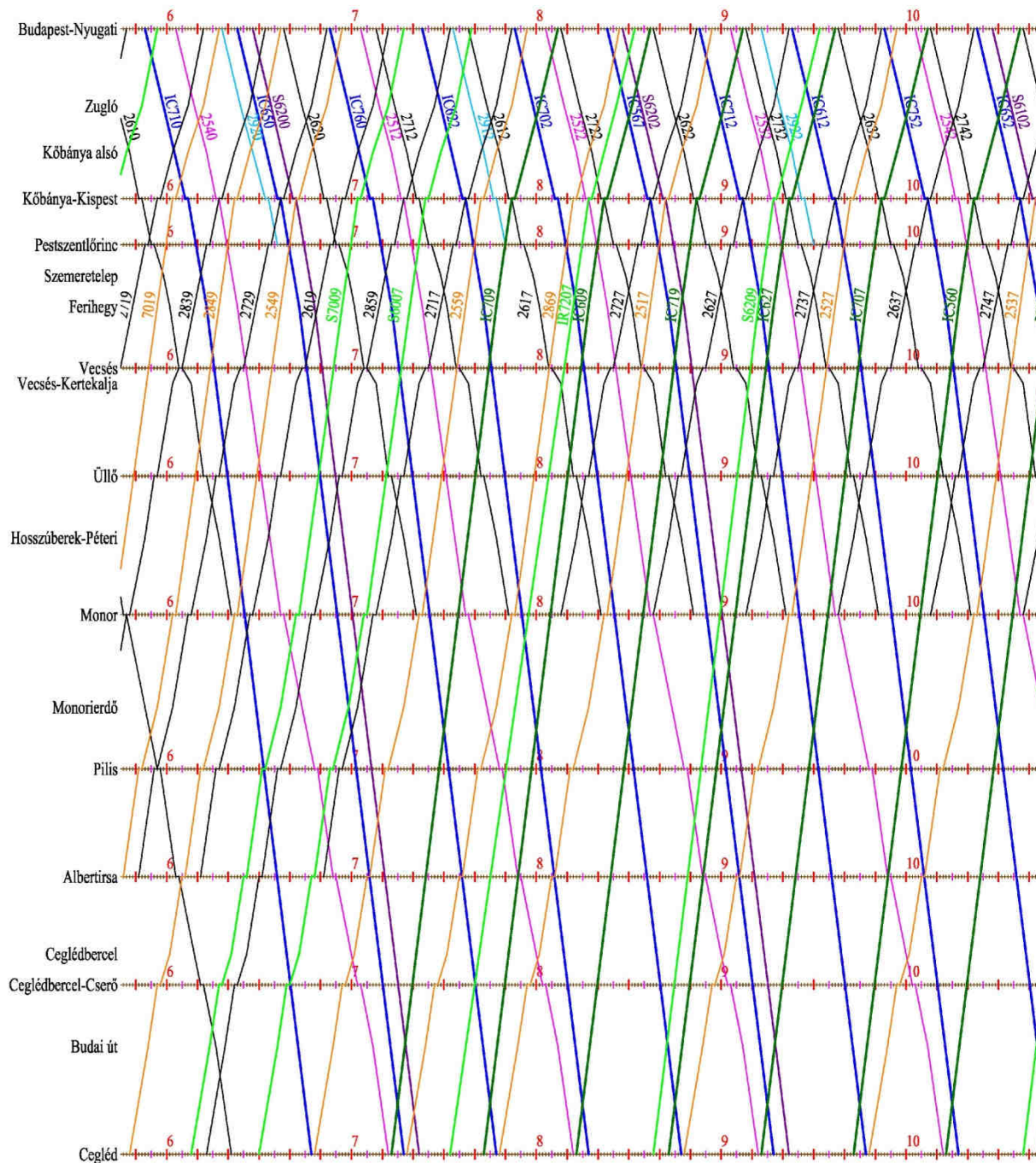
⁶ Forrás: GoogleEarth

kell zárni a forgalom előtt, az érkező vonatokat a szomszédos állomások tárolják be. A baleset után Üllő és Monor állomások között elsőként a bal vágány fog felszabadulni, s a baleset mellett technológiai lassúmenetet fognak elrendelni. Az IC710 sz. vonatba sorozott kocsik a baleset során nem sérültek meg, így a szerelvény új gépének megérkezése után az állomásra visszahúzzák, s átállítás, körüljárás, és fékpróba után folytathatja útját végállomása felé.

Vizsgáljuk meg részletesen is mi fog történni a menetrendben, s egyes állomásoknak milyen feladatokat kell ellátniuk.

Az állomásokon a pályaépítő és karbantartó, ill. segély szerelvények részére, s annak érdekében, hogy a forgalom ismételt elindítása zökkenőmentesen megtörténjen, minden állomáson legalább egy vágányt szabadon kell hagyni. Ha nem így tennének a szomszédos állomások, akkor a tipikus kizárás esete valósulna meg, azaz egyik állomás se lenne alkalmas vonat fogadására, ill. vonat indítására. Az állomások topológiájából következik, hogy a baleset miatt Üllő állomása 1 vonat fogadására, s betárolására lesz csak alkalmas, Vecsésen, Monoron és Pilisen 3 vonat tárolható.

A 2.7-es ábrán a menetrend helyreállításának egy lehetséges megoldását dolgoztam ki. A reggeli csúcsforgalomra tekintettel a helyszínelést és műszaki mentést a lehető legrövidebb idő alatt elvégezték a szakemberek (1 óra alatt), s ezt követően a baleset mellett 10 km/h-s technológiai lassúmenetet elrendelve a forgalom újra megindulhatott a bal vágányon. A 60 perces vágányzár alatt 2 gyors, 1 zónázó és 3 személyvonat nem tudta menetrend szerint folytatni útját Budapesti célállomása felé. A reggel 6 és 8 óra között közlekedő vonatok a legterheltebbek, így a 60 perc alatt felgyülemlő embertömeg kiszolgálása érdekében a Ceglédre tartó szerelvényvonatot Üllő állomásán visszafordítva, a 2859 vonat menetvonalában közlekedtettem. Ill. plusz egy szerelvényt forgattam be a Nyugatiból Üllői megfordulással a 2717 sz. vonat menetvonalára. Bár ez a megoldás nem jelent teljes megoldást, mert a Monoron és Pilisen rekedt utasokat nem lehetséges kiszolgálni, a vasútvonal teljes lezárásának ideje alatt a pótló buszokat nem lehet megszervezni, mire az első a helyszínre érnének, egy vágányon újra megindulna a forgalom. Ezért a Budapestre tartó nagy utas szám miatt, Monori szerelvény visszafogással nem számoltam.



Jelmagyarázat:

- Balesetet szenvedett vonat
- Szabad vágányt a páros vonatok foglalják

Páros vonatok:

- IC vonatok közlekedése
- IC vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Gyors vonatok közlekedése
- Gyors vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Zónázó vonatok közlekedése
- Zónázó vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Személy vonatok közlekedése
- Személy vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Lajosmizsei vonatok közlekedése

Páratlan vonatok:

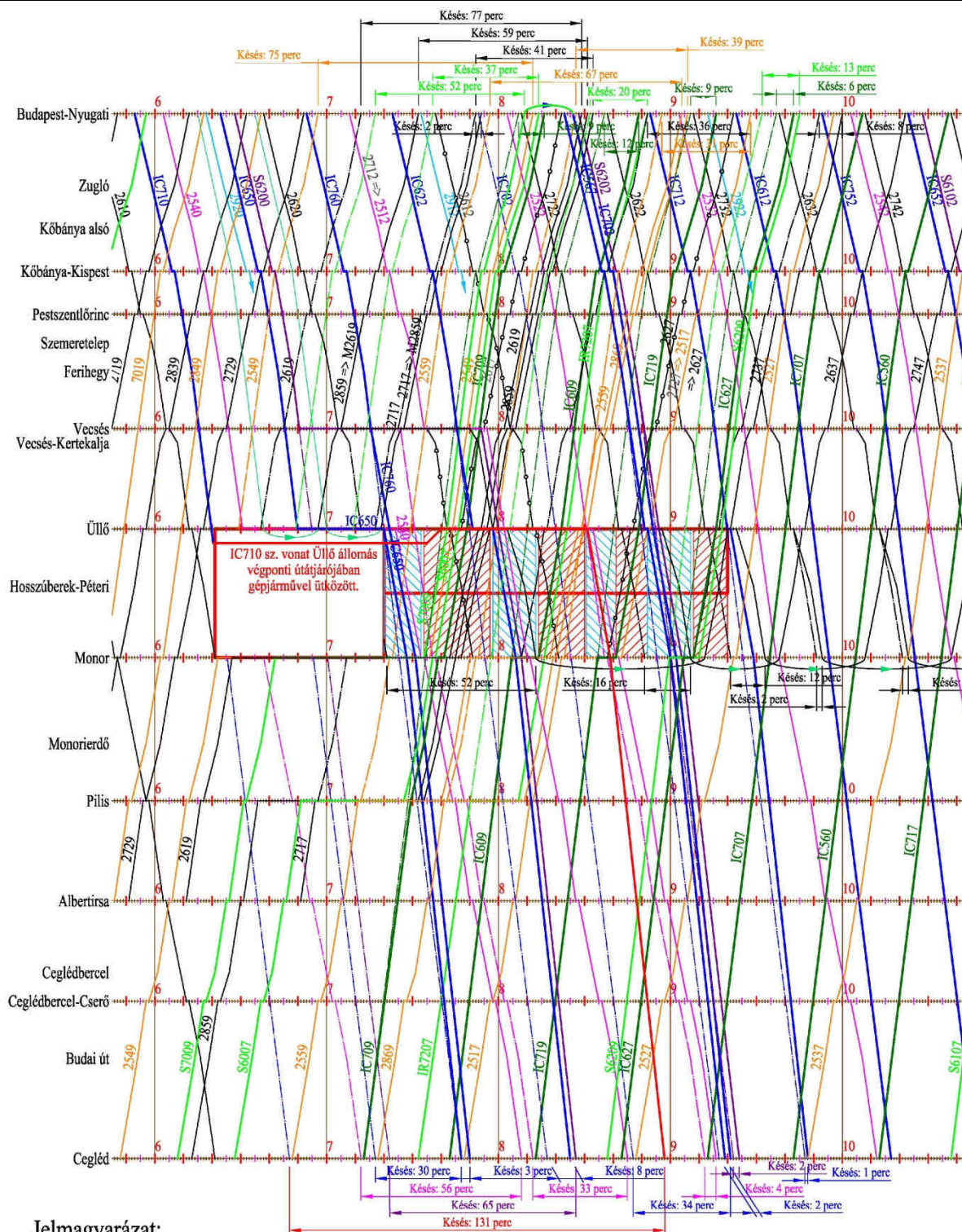
- IC vonatok közlekedése
- IC vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Gyors vonatok közlekedése
- Gyors vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Zónázó vonatok közlekedése
- Zónázó vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Személy vonatok közlekedése
- Személy vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Lajosmizsei vonatok közlekedése

2.6. ábra: 100a vasútvonal (Budapest – Cegléd) 2011 évi menetrendje

Vonatfontossági szempontokat figyelembe véve elsőként a Budapestről indított IC vonatokat engedtem át a problémás területen, s a két IC blokkján a Szolnokra közlekedő zónázó vonatot is elengedtem. Ennek oka, hogy a távolsági közlekedés visszatartása a hálózat jóval távolabbi pontján generál késéseket, melyek a nap későbbi időszakában újra késések forrása lehet. Így törekedtem arra, hogy a távolsági közlekedésben a lehető legkisebb késések alakuljanak ki. A zónázó vonat eredetileg Ferihegy és Monor között nem áll meg, így menetvonala közel az IC-k menetvonalával azonos, az egyvágányú vonalszakaszon történő áthaladás, a számítások alapján +2 perc késést okoz csak a Budapestre tartó vonatoknál. Ha a Zónázót visszatartanánk Üllőn akkor az további 24 perc késést okoz, s így a Monortól – Szolnokig közlekedő vonatok menetrendjében 90 percig nem lenne vonat, ami az iskolába és munkába igyekvő utasoknak a lehető legkedvezőtlenebb.

Ezt követően a Budapestre tartó vonatok vonatfontossági sorrendjük alapján sorba rendezve folyamatosan lehet átengedni az egyvágányú szakaszon. Viszont a forgalmi szolgálattevőknek fokozottan kell arra figyelni, hogy az utasok figyelmét felhívják a szorosan egymást követő vonatokra, hogy az esetleges tolongásokat és emiatt a vonat további csúszó késése elkerülhető legyen, ill. a mögötte érkezőt lehetőleg ne tartsa fel. A nagyobb torlódás levezénylése után, az irányváltást már a vonatok számának és vonatfontossági besorolásuk alapján lehet eldönteni.

Mindkét vágány forgalomba helyezése után, ha a bal vágány eredetileg nem sérült meg, akkor pályasebességre visszaadható, míg a sérült pályarészt, azaz esetünkben a jobb vágányt, csak bizonyos korlátozások mellett lehet csak használni. Ez a sebességkorlátozás a távolsági vonatok esetében nem számottevő, mert a puffer időbe ezen a szakaszon bele van számolva, az előttük haladó Monori személyvonat bizonytalan közlekedése, amelyek 2-3 perc késést bármikor képesek összeszedni. Így a menetvonalban a lassúmenet csak a Monori személyvonatoknál jelentkezik. A 2.7 ábrából jól látható, hogy a 2. vágány forgalomba helyezése után a késések rövid időn belül realizálódnak, eltűnnek. Viszont a menetrendszerű közlekedés nem ilyen egyszerű helyreállítani, sajnos a távolsági vonatok miatt jelentős visszahatások érik a nap folyamán a menetrendet. A statikus menetrend hibáinak összefoglalásában az utóhatásokat ábrákon keresztül fogom szemléltetni, a szimulált eset kapcsán.



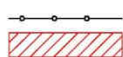
Jelmagyarázat:



Balesetet szenvedett vonat
Szabad vágányt a páros vonatok foglalják

Páros vonatok:

- IC vonatok közlekedése
- IC vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Gyors vonatok közlekedése
- Gyors vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Zónázó vonatok közlekedése
- Zónázó vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Személy vonatok közlekedése
- Személy vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Lajosmizsei vonatok közlekedése



Lemondott vonat
Szabad vágányt a páratlan vonatok foglalják

Páratlan vonatok:

- IC vonatok közlekedése
- IC vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Gyors vonatok közlekedése
- Gyors vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Zónázó vonatok közlekedése
- Zónázó vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Személy vonatok közlekedése
- Személy vonatok menetrendszerinti közlekedése
- Lajosmizsei vonatok közlekedése

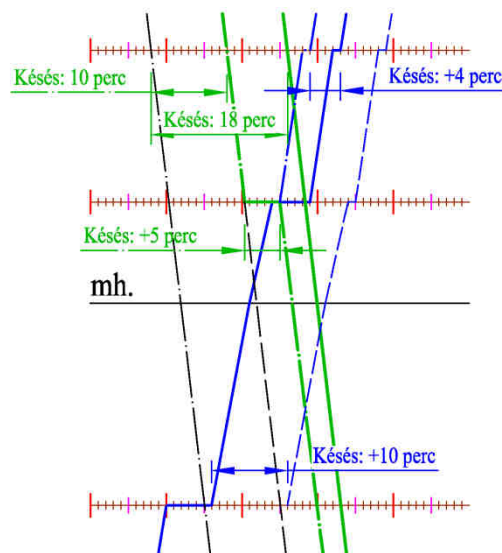
2.7. ábra: 100a vasútvonal egy feltételezett baleset következtében kialakuló zavart menetrendje.

2.3. Statikus menetrend hibáinak összefoglalása

A bemutatott két példa alapján érzékelhető, hogy egyetlen vonat késése, több vonatra is kihatással van a vonattalálkozások (vonat keresztezés, vonat mellőzés), és csatlakozásokon keresztül. A szemléltetett példák jelentősebb menetrendi zavarokat szimulálnak. Igaz egyetlen menetrendet sem lehet ilyen mértékű késések helyreállítására megtervezni, viszont nyomokban felfedezhetők a menetrendnek olyan pontja, melyek a menetrendszerűség visszaállításában hátráltató tényezőként szerepelhetnek. A jobb áttekinthetőség kedvéért itt kiemelem az ábrákból.

2.3.1. Csúszó vonatkereszt

Egyvágányú pálya esetében az ellenvonatok állomáson történő találkozását hívjuk vonatkeresztnek. Csúszó kereszt (2.8 ábra) nem más, mint a vonattalálkozás másik állomásra történő áthelyezése. Ez abban az esetben lehetséges, ha az ellenirányból érkező vonat késik, s menetrend szerint a másik vonatnak van ideje átérni a következő állomásra, úgy hogy az nem okoz jelentős késést a másik vonat közlekedésében. Vagy abban az esetben érdemes a vonattalálkozást másik állomásra áthelyezni, ha a vonattalálkozásra kijelölt állomáson a vonatbevárás miatt a két vonatnál keletkező késés összege, nagyobb a követő állomáson kialakuló együttes késésnél. Illetve abban az esetben is, ha a menetrend szerint közlekedő vonatnál – pl.: szerelvényforduló, vagy csatlakozó vonat miatt – törekedni kell a minél kisebb késésre.



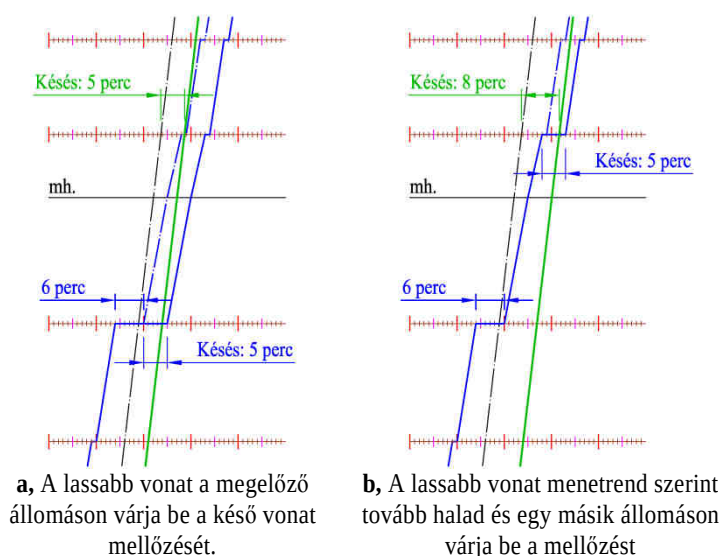
2.8. ábra: Vonattalálkozás áthelyezése késett vonat miatt

A 2.8 ábra jól szemlélteti a vonattalálkozás áthelyezésének mérlegelés folyamatát, elsőként azt kell ismernie a forgalmi szolgálattevőnek, mennyit fog késni az ellenvonat (a, esetben 10 perc; b, esetben 18 perc). Második lépésben a keletkező késések összegét kell vizsgálni, s azt kell eldönteni, melyik a kedvezőtlenebb eset, késő vonat késését halmozni (a, +5 perc), vagy a

menetrend szerint közlekedőt késővé tenni (a, +10 perc). Végezetül, s talán a mérlegelésnél ez a legfontosabb, melyik vonatnak van csatlakozása. A b, esetben a késő vonat nagysága már olyan mértékű, hogy a vonattalálkozást, mérlegelés nélkül át lehet helyezni, az ellenvonat előtt bőven van idő félretenni a menetrend szerint közlekedőt.

2.3.2. Csúszó vonatmellőzés

Ez az eset tipikusan személyvonatot elmellőző gyors, vagy IC vonatok késése esetén fordul elő, ennek az a legnagyobb hátrány, hogy a személyvonatot kétszer kell kivenni menetrendileg egy azon vonat elől, azaz a gyorsabb vonat késését tovább adja a lassabban haladónak, úgy hogy az közben kétszeresen várakozik a mögötte érkezőre. Egy vonatmellőzésre számított idő átlagosan 5-8 perc szokott lenni, s ezt csakis önműködő térközi biztosítóberendezéssel felszerelt vonalakon szokás, menetrend szerint közlekedő személyszállító vonatoknál betervezni. Ha ezt egy egyvágányú állomástávolságú biztosító berendezéssel felszerelt vonalon szeretnénk kivitelezni, akkor a lassabb vonatnak a megelőző állomásra előbb kellene megérkeznie, mint a követő gyorsabbnak a megelőző előtti állomásra. Ezt követően a lassabb vonatnak meg kell várnia, hogy a követő vonat a megelőző állomás előtti és utáni vonalszakaszon végighaladjon, s csak a gyorsabb vonat következő állomásra történő beérkezése után folytathatja útját. Jól látható, hogy ez esetben a vonal adottságainak függvényében, a megelőző állomáson való várakozás 15 - 20 perc vagy ennél akár több is lehet. Így egyvágányú állomásközi közlekedésben a vonatmellőzések tervezése kerülendő!



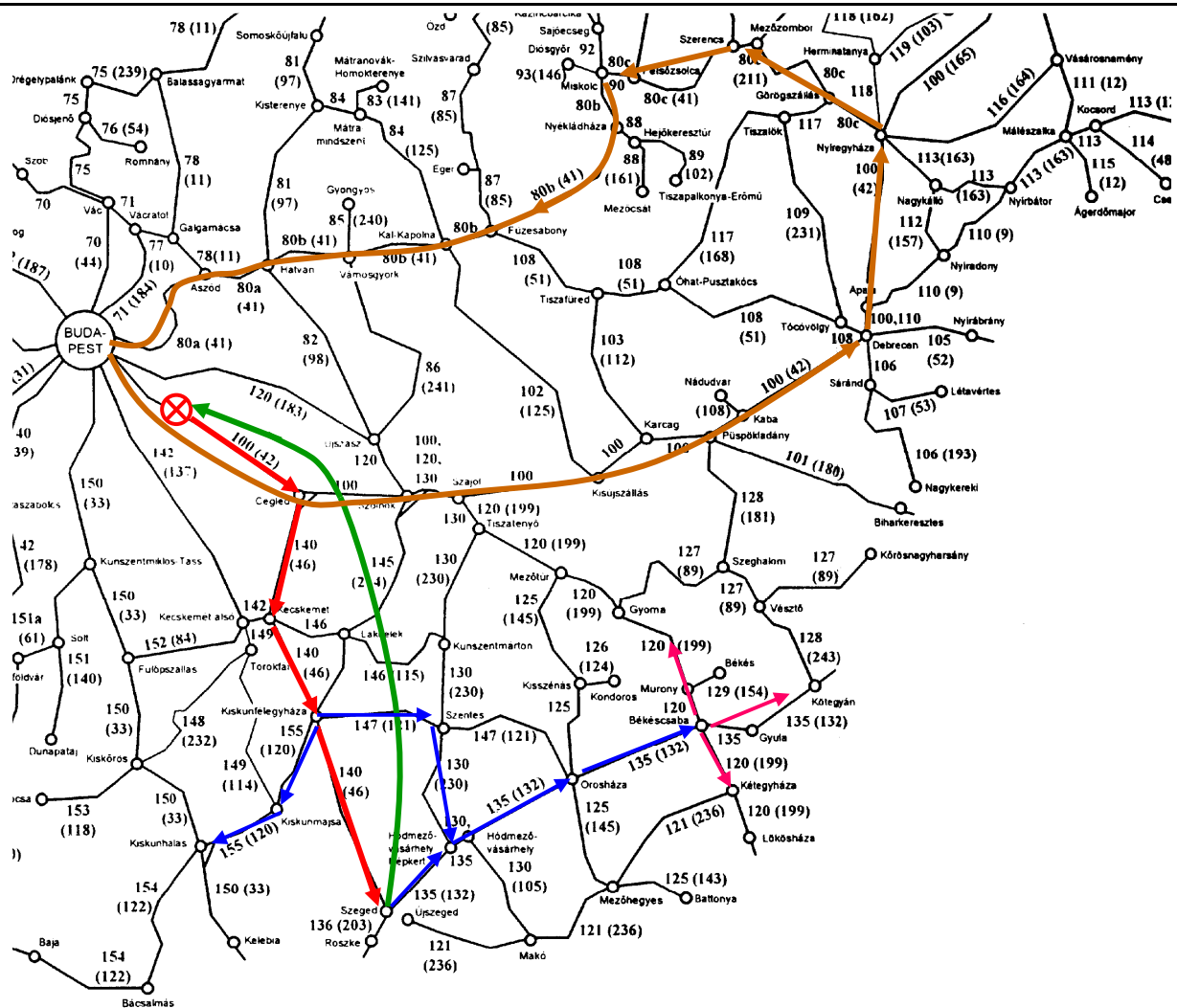
2.9. ábra: A csúszó mellőzés két esete.

2.3.3. Másodlagos késések

A statikus menetrend elemzésében már foglalkoztam az elsődleges késések okával, s a menetrendben emiatt kialakuló zavart állapottal. Az elsődleges késések, valamilyen előre nem látott esemény következtében közvetlenül a hiba forrása környezetében kialakuló menetrendi zavar. A Budapest – Cegléd vonal szimulációja során az IC 710 sz. vonata szenvedett balesetet, mely Budapest – Szeged viszonylatában közlekedik. A baleset után csak 131 perccel tudta útját végső célállomása felé folytatni. A Szegedi szerelvény fordulókat úgy alakították ki, hogy a Szegedre minden óra 15. percében megérkező vonat, a szükséges takarítás műszaki ellenőrzés, esetleg kocsik átrendezése után, az érkezést követő óra 45. percében indul vissza Budapestre. Azaz ha a teljes szerelvény 90 percnyi Szegedi tartózkodás után indult volna vissza, akkor indulásához képest a szimulált baleset miatt közel 41 perccel később ér csak oda. A szegedi vonal Cegléd-től szinte végig egyvágányú, így a késett vonat, a vonattalálkozásának alakulásának függvényében további késéseket halmozhat, vagy ideális körülmények között némi késést lefaraghat.

Egy biztos esetünkben a késett vonat szerelvényéből kiállítandó új vonat is késni fog, s emiatt a visszaút során késéseket adhat át más vonatoknak, vagy további késéseket gyűjthet. Azt a jelenséget, amikor a szerelvény tervezett fordójából a végállomási visszafordulást követően, az eredeti szerelvény késése miatt keletkezik késés, akkor azt másodlagos késésnek hívjuk. A balesetet szenvedett IC710 sz. vonat esetében a 2.10 ábrán zöld nyíl jelzi ezt a visszahatást. Ez a késés Cegléd állomáson, a késő IC710 sz. vonat elhaladását követően 3-3,5 óra elteltével jelentkezik, ami a Ceglédi csatlakozó vonatokra lehet kihatással, amelyek közlekedési rendje addigra már nagyjából helyreállt. A bevárt csatlakozás miatt újabb késések fognak generálódni a hálózaton.

Másodlagos késésnek hívjuk azokat a késéseket is, amelyeket egy késő vonat generál a csatlakozó vonatoknál. Az IC710 vonat esetében a 2.10 ábrán ezt kék nyilakkal jelöltem.



2.10. ábra: A balesetet szenvedett Szegedi IC okozta másodlagos és harmadlagos késések a menetrendben.⁷

Csatlakozó vonatok esetében generált késés a Szegedi vonatonál 3 vonal menetrendjét érinti. Gondoljuk végig mi történne, ha a Budapest Nyugati – Cegléd – Debrecen – Nyíregyháza – Miskolc – Budapest Keleti útvonalon közlekedő (barna vonal) kör IC 10-20 perc késéssel közlekedik végig, hány csatlakozó vonal menetrendjét boríthatja fel.

Említés szintjén a menetrendben előfordulhatnak a harmadlagos késések, mely a késett csatlakozás miatt felboruló szerelvényfordánál jelentkezhet a visszafordulás során, vagy a csatlakozó vonat késése, egy másik csatlakozó vonat késését eredményezi. A Szegedi példánál maradva, ez a késés a Békéscsabáról induló vonatok esetében lehet megfigyelni, ha a Szegedről érkező késő vonatot bevárják (2.10 ábrán rózsaszín vonal).

A szemléltetett példákon keresztül jól érzékelhető, mennyire is érzékeny a statikus menetrend a késésekre, s hogy azok miként terjednek szét a hálózaton.

⁷ Forrás: MÁV Zrt.: Műszaki Táblázatok 1.

3. A dinamikus menetrend

Mint az a bevezetőben is írtam egy statikus menetrendet, nagyon nehéz lenne a mindenkori igényekre méretezni. Nem beszélve a statikus menetrend elemzése során bemutatott jelentős forgalmi zavarokról, melyek egyetlen menetrend készítésénél sem lehet figyelembe venni, legfeljebb szimulálni, a „*mi történik, ha*” esetet. Akkor mégis mitől lesz egy dinamikus menetrend, dinamikus és miért jobb a statikushoz viszonyítva?

Az általam kidolgozott rendszerben, a statikus menetrenddel ellentétben egy vonathoz nem csak egy menetvonalat lehet hozzá rendelni. Így a menetrend dinamikusságát a menetvonalak közötti váltás, útválasztás lehetősége adja, mely a forgalmi szolgálattevőknek késő vonatok kezelése esetére egy döntés előkészítést hordoz magában. A dinamikus menetrend segítségével a vonatok késését lehet optimalizálni, a felesleges várakozási idők kiküszöbölésével. A következő részben részletesen ismertetem a dinamikus menetrend számításának menetét, illetve azt, hogy a biztosító berendezés minimális módosításával, hogyan lehet a pálya kapacitását megnövelni. S végül bemutatom, hogyan lehet az utasok számára közérthetően meghirdetni a menetrendet.

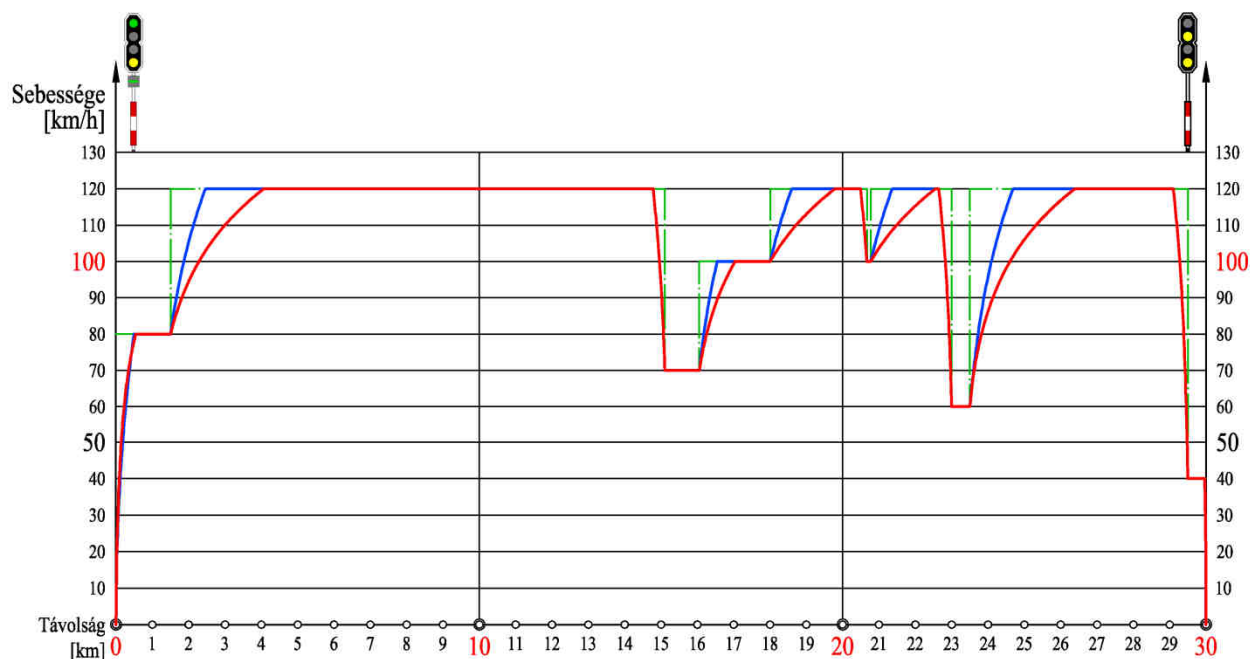
3.1. A dinamikus menetrend számításának alapja

A számítás elkezdéséhez, elsőként a vonatok mozgását befolyásoló tényezőket kell meghatározni. Ilyen alapadatok a pályageometria, az állomások kiosztása, a jelzők, jelzőeszközök, helye, a lassan bejárandó pályarészek, valamint a vonatok terhelési és vontatójármű csoportokra bontása. Ezt követően minden vasútvonalra meghatározható, hogy az eredeti tervezési sebesség mellett, a vonalra jellemző terhelési osztályokhoz rendelt, a vonalon jellegzetesen használt vontatójárművek esetében, miként alakul a vonatok út – sebesség, és út – idő grafikonja. Az így kapott függvényekből az alapállapotra vonatkozó adatokat lehet származtatni, ezen számításokat csak a vasútvonal átépítése, vagy új vontatójárművek (pl: a vasútvonal villamosítás) alkalmazása esetén kell újra számolni. Ezen adatokból származtatható menetrend a bázis, vagy más néven referencia menetrendünk.

Ezt követően kiszámítható a menetdinamikai számításokkal, miként fog a tényleges út – sebesség és út – idő függvény alakulni. A tervezett és jelenlegi adatokat összehasonlítva jól tükrözi egy vonal teljesítőképességének csökkenését, valamint a pályaállapot romlását. A tényleges adatok alapján elkészített, menetdinamikai függvényekről az is jól leolvasható, hogy egy adott vontatójármű a teljes vonal hosszát tekintve mennyivel többet gyorsít, s e miatt mennyivel több energiát használ fel a szerelvény továbbítása során.

Vizsgáljuk meg a 2.1 ábrán ismertetett legkorlátozóbb sebességprofilú pálya esetében, azonos terhelés mellett, két különböző vontató járműnek miként alakul az út-sebesség profilja. A

szervély tömegét 400 tonnának feltételeztük, az egyik vontató jármű a MÁV 480 sor. (Traxx), míg a másik egy V63-1xx sor. vontatójármű.



Jelmagyarázat:

- A vonathál alkalmazható legnagyobb sebesség
- 400t-ás szervély TRAXX-al vontatva
- 400t-ás szervély V63 mozdollyal vontatva.

3.1. ábra: Két különböző vontatójárművel továbbított egy azon szervély út – Sebesség grafikonja.

A 3.1 ábra két grafikonját összehasonlítva jól látható, hogy egy TRAXX típusú mozdony azonos elegytömeget rövidebb úton gyorsít fel adott sebességre, mint a V63 típ. mozdony. Természetes, hogy így a TRAXX típus azonos úthosszt (példánkban 30 km) kevesebb idő alatt jár be. A dinamikus menetrend stabilitása érdekében az első és legfontosabb szabály, hogy a menetrendben definiált vonatok szervély összeállítása lehetőleg mindig azonos legyen, és az eredetileg beosztott vontató jármű kerüljön rá. Ha a beosztott vontató járműnél kisebb teljesítményű kerül egy vonat élére, akkor útja során folyamatosan halmozódó csúszó késéseket szenved. Ez a jelenség jól megfigyelhető például a RailJet vonatok esetében, ha azt műszaki meghibásodás miatt egy V63-asnak kell továbbítania egy Taurus helyett. A helyzetet csak tovább rontja, ha csak V63-0 sor. mozdonyt ($V_{\max} = 120 \text{ km/h}$) sikerül az RailJet ($V_{\max} = 160 \text{ km/h}$) továbbítására befogni, ekkor a csúszó késés mértéke Budapest – Hegyeshalom viszonylatában elérheti a 30 – 40 percet is, s ehhez még hozzájön a Hegyeshalmi gépcsere ideje.

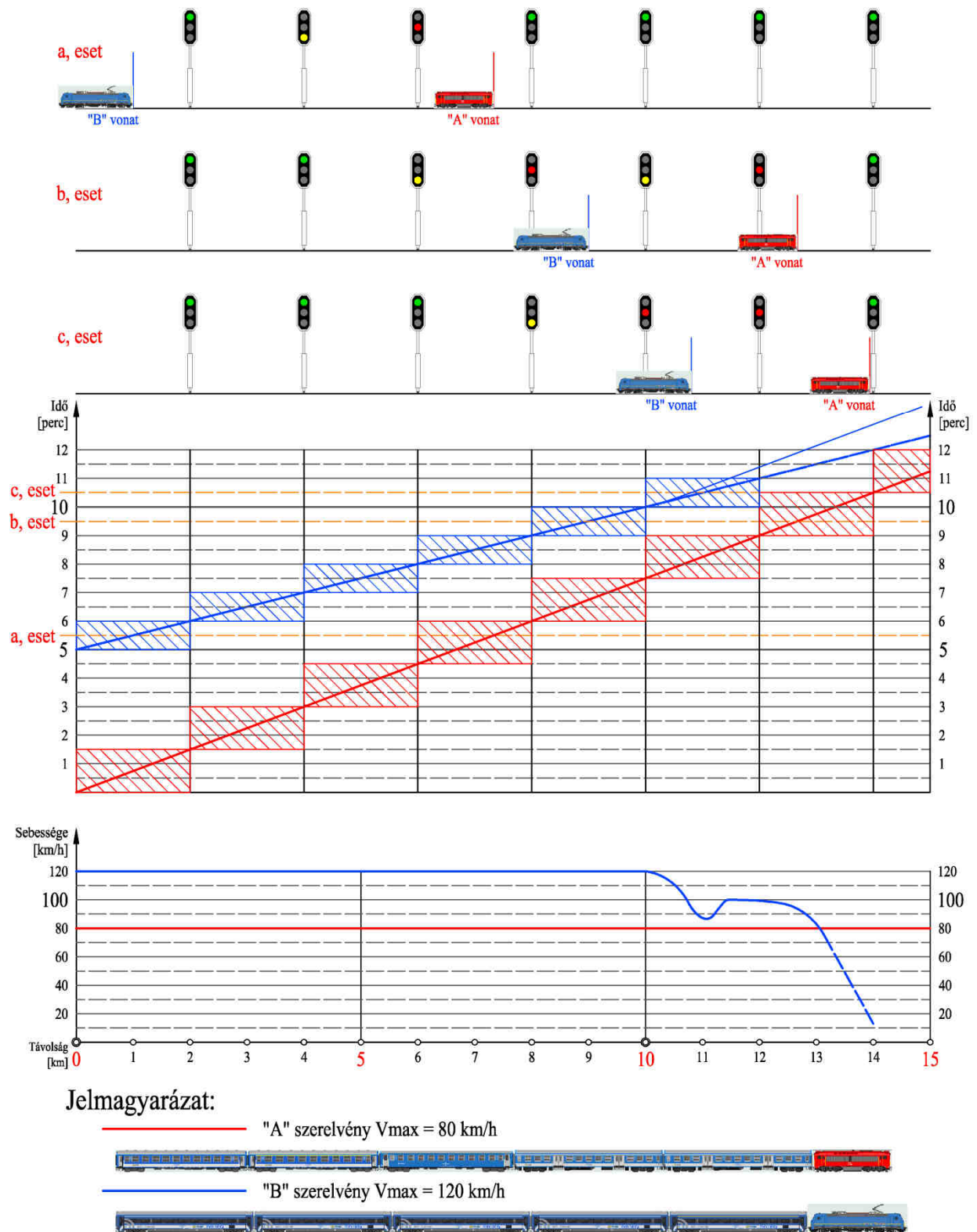
3.2. A dinamikus menetrend számítása

Annak érdekében, hogy a modellezett és számított út-sebesség függvény betartható legyen érdemes az alábbi szabályokra odafigyelni:

1. A menetrendben figyelembe vett maximális sebességhez képest a vonathálón alkalmazható legnagyobb sebességet, 5 km/h-val érdemes csökkenteni.
2. A vontató jármű teljesítményét, annak korossága függvényében a gyári vontatási teljesítményéhez képest 3-8%-al kell csökkenteni. (Érdemes megfigyelni, hogy a számítógép vezérlésű vontató járművek esetében, ha a mozdonyvezető AFB-t használ, akkor a maximális vontatási teljesítményhez képest akár 10-15% is csökkentett vonóerőt fejthet ki.)
3. A lassan bejárandó pályarészek hosszát érdemes kerek 100 m-re felkerekíteni a szerelvény hosszával együtt, mert a vasúti közlekedésben a méterre és km/h-ra pontos fékezés nem kivitelezhető.
4. Két egymást követő jármű esetében a legalább egy térköz szabadon tartása.

Az utolsó pontot vizsgáljuk meg kicsit részletesebben is. Tegyük fel nyíltvonalon önműködő térközjelzőkről van szó, és két vonat közül az elől haladó a pályasebességnél alacsonyabb sebességgel közlekedhet, míg a másik maximális sebességgel (3.2 ábra). A hátul haladó folyamatosan közelíti meg az előtte haladót. A folyamatos távolság csökkenés miatt kialakul az a helyzet, amikor a második vonat belép, az utolsó üres térközben, ekkor a jelzési kép alapján fel kell készülnie, a megállásra a következő jelző előtt. A vonatbefolyásoló berendezés ekkor sűrített éberségi felhívást fog adni a mozdonyvezetőnek. Ezt az elején lehet nyugtázni, viszont bizonyos idő elteltével – 120 km/h-ra kiépített pálya esetében a két figyelmeztető felhívás után, emelt sebességű ($V = 160$ km/h) pályán az első figyelmeztető felhívás után – ha a mozdonyvezető nem csökkenti a fővezeték légnyomását, vagy villamosan nem fékez, akkor az újabb figyelmeztető felhívást már nem tudja nyugtázni, mindaddig, amíg a fékezést meg nem kezdi. Ha a figyelmeztetésre nem reagál a vezető, akkor a vonatbefolyásoló automatikusan működésbe hozza a vészféket, melyet csak a szerelvény teljes megállása után lehet feloldani.

Vagyis ha két vonat túl közel kerül egymáshoz, akkor a mögöttes vonathoz valószínűleg a lassabban haladónál kisebb sebességre kell majd lefékeznie annak érdekében, hogy a vonat az előtte lévő jelző szabadra állásának elmaradása esetén se tudja meghaladni a vörös jelzést. Azaz egyszerre még véletlenül se kerülhessen egy térközbe két vonat.

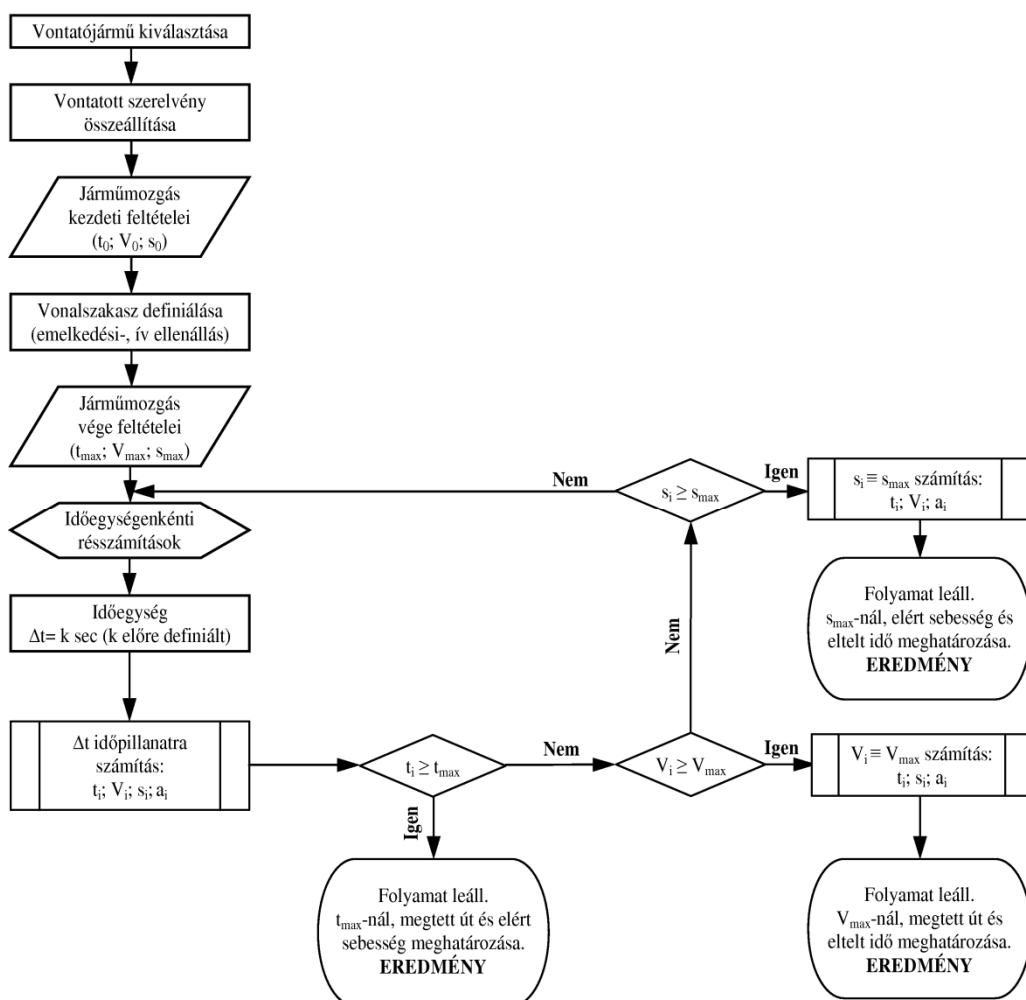


3.2. ábra: Az elől haladó lassabb szerelvény az érkező gyorsabb vonatra gyakorolt hatása.

A másodikként közlekedő vonat lassítása a megállj állású térközjelző előtt, majd újbóli felgyorsítása a szabadjelzés után többlet energia felhasználással jár, amit célszerű elkerülni, ezért kell a dinamikus menetrend megtervezésében minden esetben legalább egy térközt szabadon hagyni két vonat között. Vonatok mellőztetése esetén, a félreállásra úgy kell időt biztosítani,

hogy a gyorsabb vonatnak, ne kelljen lassítani a bejáratí jelző előtt, s ezt követően újra felgyorsítania menetsebességre.

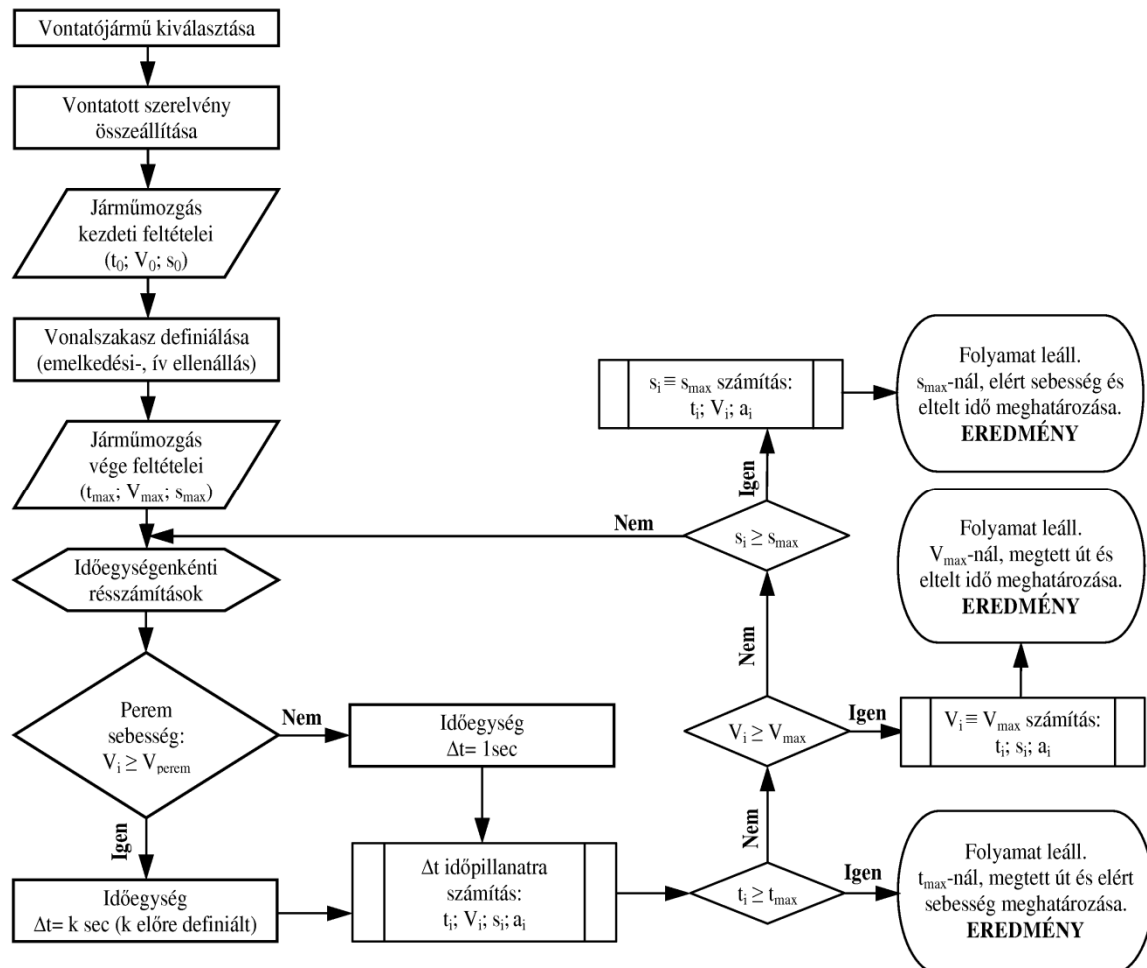
A dinamikus menetrend számításának egyszerűsítése végett, a 3.3 ábrán feltüntettem azt az alap algoritmust, amellyel a vonatmozgás differenciálegyenletét lehet pontról pontra kiszámolni. Számításaimhoz alapegységnek az időt választottam. Azért nem a sebességet, mert az a vonóerő csökkenésével, a ΔV -hez tartozó út és idő érték túl nagy ahhoz, hogy jól értékelhető legyen a közel nulla vonóerő közeli vonatmozgás vizsgálata. Ha az úthosszakat választottam volna egységnek, akkor a legkritikusabb, vonatmozgás megindulása körüli mozgás változását nem lehetett volna érdemben értékelni.



3.3. ábra: A számítás kezdeti algoritmus

A számítás során a Δt értéke egy előre definiált k számtól függ, ezért az út, sebesség, adatokat egyenletes eloszlásban kapjuk meg. Ha az így adódó eredményeket végigtanulmányozzuk, akkor az tapasztaljuk, hogy a vonóerő csökkenésével nem szükséges a pontokat olyan sűrűn meghatározni, mint a mozgás kezdetén, így az algoritmus hatékonyságát

nagymértékben javítja, ha vontatójárművenként meghatározunk egy perem sebességet (3.4 ábra), jellemzően a meredeken gyorsító szakasz végéhez. E sebességnél kisebb értékekre részletesen – jellemzően $\Delta t = 1\text{sec}$ időközönként – elvégezzük a számítást, a perem érték fölötti részen viszont az előre definiált k osztóközönként.



3.4. ábra: A részletpontok meghatározásához használt algoritmus

A 3.4-es ábrán vázolt algoritmussal viszont egyetlen baj van, hogy a mozgás kezdetén a vonóerő nagysága nem egyik pillanatról a másikra lesz maximális nagyságú, ha ez így történne, az utaskényelmi problémákat vetne fel, valamint szélsőséges esetben ez az összekapcsolt kocsisor valamelyik csavarkapcsának szakadásához vezetne. Így a valóságot megközelítő algoritmusba érdemes azt a feltételt is beépíteni, hogy ha a vonat $a_0 = 0 \text{ m/s}^2$, gyorsulásról indul, akkor a vonóerőnek legyen egy felfutási ideje. A számításaimhoz használt végső algoritmust a 3.5 ábrán tüntettem fel.



BME – Út- és Vasútéptézési tanszék.

Hasonló tematika alapján az út-idő függvény is átalakítható terhelés-idő függvénnyé, amiből tetszőleges járműterhelés esetén ΔV sebességkülönbség előállításához szükséges időket lehet kiolvasni. A pályafoldali ellenállások változásából keletkező összetett függvények, könnyen előállíthatók a terhelés-út, és terhelés-idő függvényekből, ha azokat ellenállásonként szuperponáljuk.

A terhelés-út, és terhelés- idő függvények segítségével, bármely vasútvonal esetében, akár már a tervezés időszakában is gyorsan és pontosan számítható, a tervezhető menetrend. A teljesség igénye nélkül a dolgozatom Mellékletében feltüntettem a négy fővonal villamos mozdonyra (NKH új pályaszámok szerint: 431; 470; 480; 630) jellemző terhelési függvényeket, $e = 0$ és 5‰-es emelkedőkre.

3.3. A dinamikus menetrend szerkesztése

A dinamikus menetrend vázának szerkesztése, és elvi felépítése megegyezik a statikus menetrend felépítésével, a vonatok menetrendjét alapvetően itt is a menetrendi pókok határozzák meg. A dinamikus menetrend célja, hogy a kisebb késések okozta zavarok, könnyen helyre álljanak, s a csatlakozó vonatok menetrendjére ne hassanak ki.

A statikus menetrend szerkesztésénél leírtak itt is érvényesek lesznek, viszont a szerkesztési esetek című részben részletesen bemutatom, milyen hatással van a menetrendszerű közlekedésre a kettős menetvonal.

3.4. A dinamikus menetrend szerkesztésének esetei

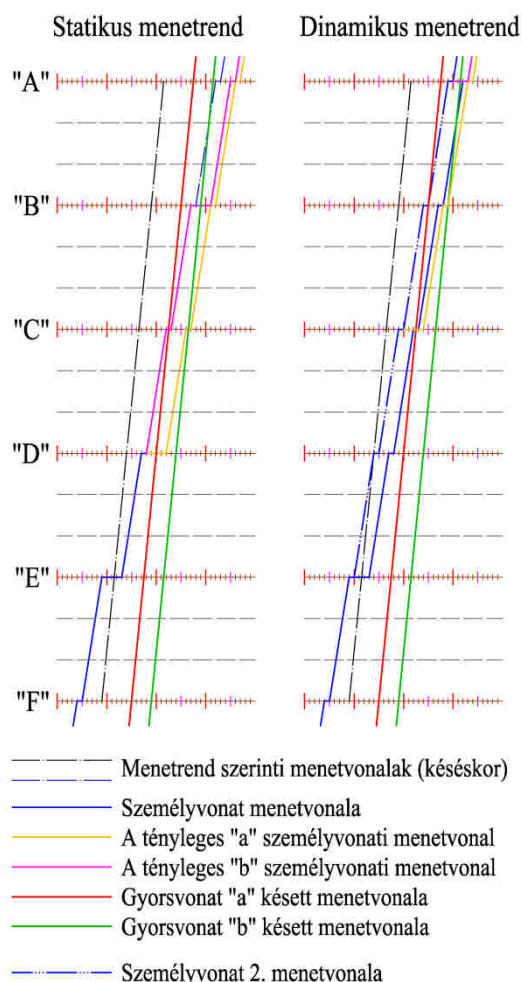
A statikus menetrendnek a legnagyobb problémája, hogy a menetrendnél korábban vonat nem közlekedhet, ez abban az esetben előnytelen, ha a késő vonat miatt, az egyébként menetrend szerint közlekedő vonatnak, a vonattalálkozásra szánt idő miatt egy állomáson vesztegelnie kell. Innentől kezdve lesz óriási szerepe a kettős menetvonalnak. Azaz egy vonatnak nem kell egy állomáson vesztegelnie, csak azért, mert a vonatkereszt, vagy mellőzés elmarad a másik vonat késése miatt. Ez alapján megállapíthatjuk, hogy a dinamikus menetrend a statikus menetrendben rögzített elvekkel szakít. Azaz a menetvonalak egy vágányú pálya esetében is, akár a nyílt vonalon is metsződik. Bár ezt fizikailag lehetetlen lenne megoldani, egyvágányú pályán a nyílt vonalon hogyan találkozhatnak két vonat.

A kettős menetvonalnak nem az a célja, hogy a vonatok nyílt vonalon találkozzanak, hanem az hogy a legkisebb késés esetén is lehessen mérlegelni, két szomszédos állomás közül melyiken célszerűbb a vonatkeresztet, vagy mellőzést lebonyolítani.

A jobb szemléltetés kedvéért hasonlítsuk össze, egymás mellett, a statikus menetrendben, és a dinamikus menetrendben a vonattalálkozások folyamatát.

3.4.1. Vonatmellőzés dinamikus menetrend esetén:

A szemléltetés megkönnyítése végett tételezzük fel, hogy az állomások egyenletesen oszlanak meg a vizsgált vonalon, azaz az állomásközök egyenlő hosszúak, és az állomások között nincs nyíltvonal megállóhely. Az állomásközök, pedig 3 önműködő térközpontra vannak felosztva, a térközpontok jelző helyeit a 3.6 ábrán szaggatott vonal jelöli.



3.6. ábra: Vonatmellőzés összehasonlítása dinamikus és statikus menetrend esetén.

Jól látható, hogy statikus menetrend esetén a személyvonatnak „E” állomáson 4 perc tartózkodási időt be kell tartani, s csak ezt követően indulhat tovább. Ha az érkező gyorsvonat csak 5 percet késik („a” eset) akkor a személyvonat csak a szomszédos „D” állomásig fog eljutni, itt újra várakoznia kell, míg a mellőző vonat el nem halad. Vagyis statikus menetrendben a személyvonat felveszi a gyorsvonat késését. Ezzel szemben a dinamikus 2 menetvonallal rendelkező esetben, a személyvonatnak nem kell bevárnia a gyorsvonat érkezését, utas csere után folytathatja útját, végállomása felé. Ha a gyorsvonat kellő távolságba ér, akkor a személyvonat egyszerűen kivehető előre, majd a gyorsvonat elhaladása után, az eredetileg tervezett menetvonalától alig 1 perc eltéréssel folytathatja útját.

A gyorsvonat 10 perces késése esetén statikus menetrendnél „B” állomásra kerül a kereszt, míg dinamikusnál „A” állomásra. Dinamikus esetben a személyvonat maximálisan 1 perc körüli késést fog

elszenvedni, ezzel szemben statikusnál, ez minimum 4-5 perc, vagy ennél több is lehet.

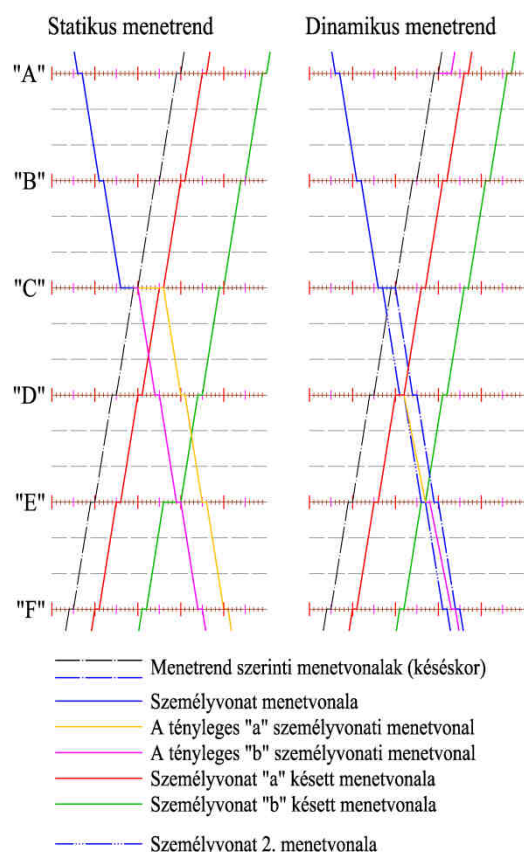
Abban az esetben, ha a mellőző vonat késése a szemléltetnél jelentősebb, akkor mindkét esetben menetrend szerint tudnak közlekedni a személyvonatok. Viszont a statikusnak még mindig meg van az a hátránya, hogy a vonat teljesen értelmetlenül fog egy közbenső állomáson várakozni. Dinamikus menetrendben, ez esetben a személyvonatnak a maximálisan alkalmazandó sebessége lejjebb vehető, s a 2. menetvonalról fokozatosan térhet át az eredetire. A vonat sebességének visszafogásával, minimális üzemanyag, vagy villamos áramfogyasztást lehet

megtakarítani, ezzel is elősegítve a környezettudatosabb energia felhasználást. Egy a vonaton utazó személy számára sem az a kellemetlen, ha a vonat a megszokotthoz képest lassabban megy, hanem az, ha egy állomáson állni, várakoznia kényszerül a vonattal.

Itt érdemes megjegyezni, hogy az energiafelhasználás optimalizálását csakis abban az esetben lehet megvalósulni, ha a vonat személyzete pontos információkkal rendelkezik a mögötte érkező vonatáról.

3.4.2. Vonatkeresztelés dinamikus menetrend esetén

A vonatkereszt szimulálásához használjuk fel az előző pontban feltételezett vonal jellemzőit, s vizsgáljuk meg miként fog a két vonat találkozni, hogyan s mikor lehet a kereszt helyét áthelyezni. (3.7 ábra)



3.7. ábra: Vonatkeresztelés összehasonlítása dinamikus és statikus menetrend esetén.

Ha az „F” állomás irányából „A” felé haladó vonatnak, viszonylag kicsi a késése akkor mérlegelni, kell melyik a kedvezőtlenebb eset, ha a kereszt „C”-ről átkerül a „D”-re, s így az eleve késő vonat további késéseket szed össze, vagy az, ha a menetrend szerint közlekedő vonat, a késő vonatéval azonos késést szenved el. Ha mindkét vonat csatlakozó vonathoz igyekszik, mint például a Szeged – Békéscsaba viszonylatában közlekedő vonatok, akkor célszerűbb a menetrendszerinti vonatot várakoztatni, 4 - 6 perc késés esetén a csatlakozó vonat még megvárja érkezését. Viszont, ha a késve érkező további késést halmoz fel, s ezt követően tegyük fel, még egy vonattal keresztez útja során, akkor a késés halmozódásával az eredetileg 4- 5 perces késésből akár 15-20 perc is lehet. Ilyen jelentős késést már nem szoktak bevárni a csatlakozó vonatok, ha azok nagyforgalmú

fővonalra esnek. Ha az „a” esetet megnézzük a dinamikus menetrend tükrében, akkor jól látszik, hogy a menetrend szerint közlekedő vonat, továbbra is menetrend szerint tudja útját folytatni, s a késett vonat legfeljebb 1-2 perc késést szenved el a vonatkereszt áthelyezése miatt.

Jelentősebb késés esetén („b” eset) már érdekesebb az eleve késő vonatot visszatartani, mert arra már nagyvalószínűséggel nem vár a csatlakozás. Egy ilyen döntés előtt a forgalmi

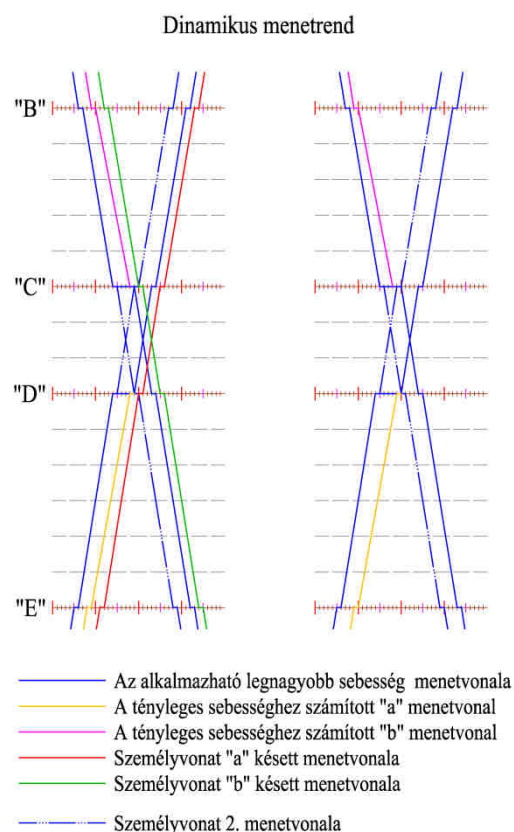
szolgáltattevőnek illik azt is mérlegelnie, hogy a késés további halmozása, milyen kihatással lehet a szerelvényforduló idejére. Például a további késés nem fog-e másodlagos késéseket generálni.

Ez esetben nehéz összehasonlítani a kapott eredményeket, mivel azok előre definiált késésekre mutatják meg a szükséges beavatkozásokat, ha például a „b” esetben kicsit kevesebbet késik az ellenvonat, akkor éppen, úgy kell a dinamikus menetrendnél is mérlegelni, mint a statikusnál. Viszont a dinamikusnak annyi előnye van, hogy az állomási tartózkodási idővel is lehet gazdálkodni, míg statikus esetben, bárhogya is dönt a forgalmi szolgálat biztosra vehető a késés továbbhalmozódása.

Vizsgáljuk meg az alábbi lehetőséget is: mi történik, ha hosszabb állomásközők esetén a dinamikus vonattalálkozást úgy tervezzük meg, hogy az a lehető legrövidebb állomásközőben a nyíltvonal felére essen, s a kereszt helyét az döntse el, hogy melyik vonat késik minimálisan.

Az első eset alkalmazásával a menetrendben keletkezett 4-5 perc késést lehet helyreállítani, jól látható, hogy az egyvágányú pálya miatt, és a „B”- „C”, illetve „D”-„E” vonalszakaszok hosszúsága miatt szinte lehetetlen lenne vonattalálkozást áthelyezni. Ezért a 3.8. baloldali ábrarészében kék vonallal jelöltem a vonatra alkalmazható legnagyobb sebességhez tartozó kifeszített menetvonalat, s a vonat közlekedésébe beépítendő puffer időt a „C” és „D” állomások tartózkodási idejére hoztam ki. Ha bármelyik vonat 4-5 perc késést halmoz fel, akkor az ellenirányból közlekedőnek elegendő ideje lesz arra, hogy a C-D szakaszt befussa, így a késő vonat késését ne halmozza.

Tételezzük fel, hogy minden menetrend szerint történik, ebben az esetben vajon melyik vonatnak kell elsőbbséget adni, s melyiket kell megvárakoztatni. A megoldás teljesen kézenfekvő, egyetlen egy vonat esetében sem lehet egyenlő a menetvonal tervezési sebessége a vasúti pálya tervezési sebességével. Nézzük meg például az RailJet-ek ausztriai menetvonalát, annak tervezési sebessége a nagysebességű pályán 200 km/h, viszont a vonat besorolása 200/230, azaz bármilyen fennakadás esetén a menetrend betartása érdekében 230 km/h-val is közlekedhet. Ezzel szemben



3.8. ábra: Dinamikus vonatkereszt tervezése a rövid állomásközi kihasználásával.

nálunk belföldi IC-k nagy része 120/120-as menetvonalai besorolást kap. Figyelembe véve a pályaállapotokat is, jelenlegi menetrend szerkesztési stratégia alapján szinte ritkaságszámba megy, ha egy IC pontosan érkezik meg úti céljához. Az esetek nagyon nagy százalékában, 5-8 perc csúszó késést szenvednek össze ezek a vonatok.

Azaz ha a 3.8-as ábrán bemutatott menetvonalakat, például 110/120-as menetrendi besorolás alapján tervezzük meg, akkor a kék színű kifeszített menetvonalak a 120 km/h sebességhez tartozók. A sárga és bíbor színnel jelöltek a tényleges 110 km/h tervezési sebességhez tartoznak. Ha minden menetrend szerint történik, s mindkét vonat közel azonos időben érkezne meg a szomszédos állomásra, nehéz lenne eldönteni, melyik élvezzen elsőbbséget, egy biztos a menetrend struktúrája miatt az egyik késővé válna. Annak ellenére, hogy minden menetrend szerint történik. Ezért e menetrendi szituáció tervezésénél, kellő informatikai háttérrel kell rendelkezni, annak érdekében, hogy a vonatközlekedésről folyamatosan lehessen tájékoztatni a mozdonyvezetőket. Így el lehet rendelni az egyik vonat esetében a maximális sebesség alkalmazását, melynek köszönhetően probléma és fennakadás nélkül tud a másik vonat érkezése előtt (jelen esetben) a „C”-„D” állomásközön végighaladni.

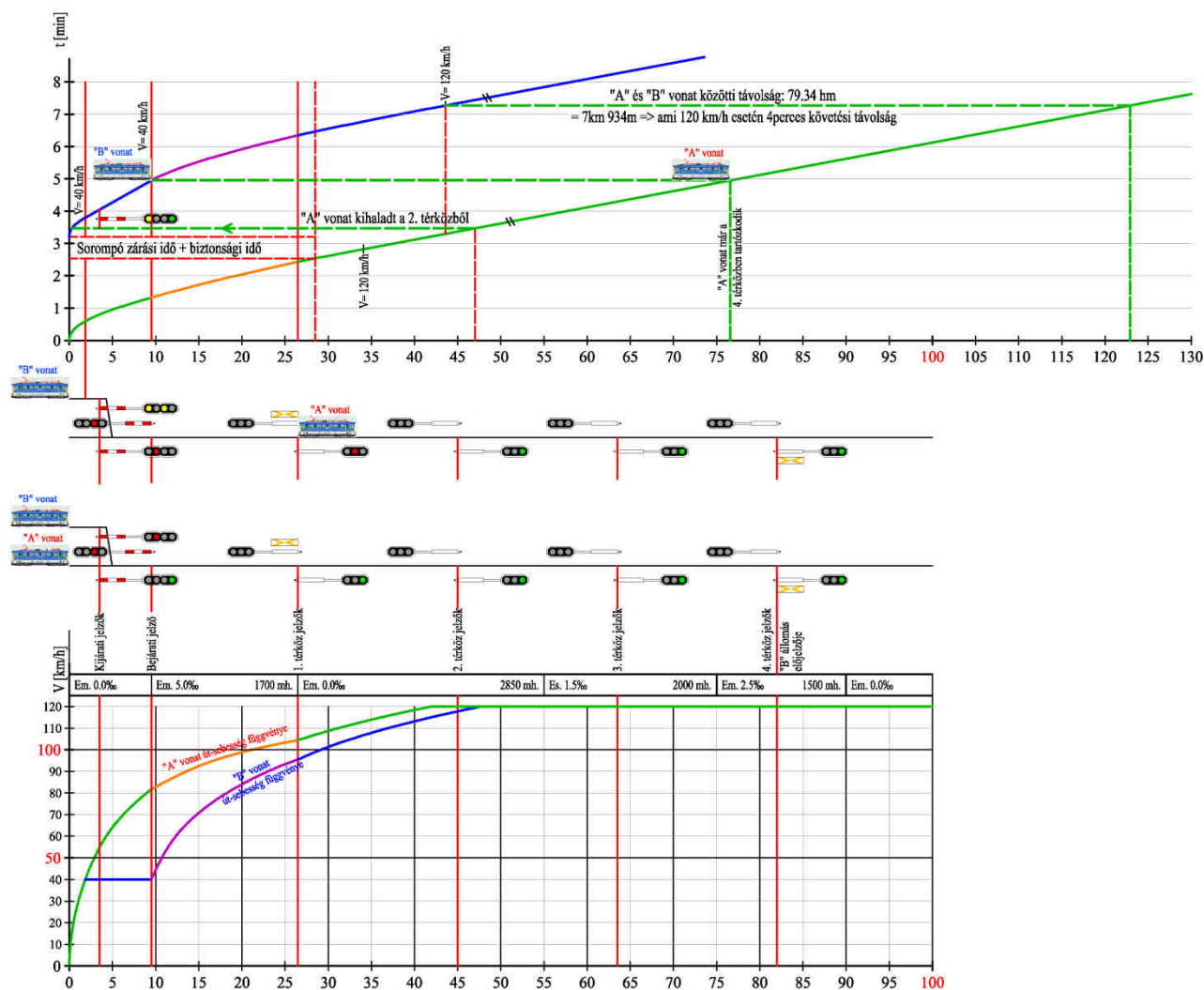
A 3.8-as ábra jobb oldalán azt az esetet tüntettem fel, amikor a C-D állomásköz a vonal egyik végéhez esik közelebb. Számításaim alapján az a kedvezőbb eset, ha ilyenkor a nyíltvonalon metsző menetvonalak metszéspontját azon állomás felé toljuk el, amelyik közelebb esik a vonal végpontjához. Ennek oka az, hogy a végpontról érkező vonat nagyobb valószínűséggel fog pontosan megérkezni, ha nem így történik, akkor a távolabbról érkező vonat könnyedén át tud érní a D-ről C állomásra, az ellenvonat feltartása nélkül.

Bár a legelegánsabb megoldás az lenne, ha a rövid állomásközoeket egyvágányú pálya esetében kétvágányúra építenénk át, s a közel fekvő állomások közül, a gyéresebb forgalmút megszüntetnénk, s helyén, csak egy forgalmi kitérőt üzemeltetnénk. E megoldás jelentős anyagi vonzata miatt nem kivitelező, így a vasútvonalaink korszerűsítéséig illik a jelen körülményeket a lehető leghatékonyabban, s legköltséghatékonyabban kihasználni.

3.5. A biztosító berendezés korlátozó hatása

A menetrend tervezése szempontjából már korábban bemutattam, milyen hatása van az állomás távolságú, és az önműködő térközjelzőkkel felszerelt biztosító berendezésnek. Ebben a részben bemutatom, hogyan lehet önműködő térközjelzőkkel felszerelt vonat esetén két egymás követő vonat között kialakuló holt időt minimalizálni. A könnyebb összehasonlítás érdekében tételezzük fel, hogy a két szerelvény minden paraméterében azonos.

Jelenleg az állomási biztosító berendezéseinknél csak is akkor lehet szabad kijáratot állítani, ha az első térköz üres, és ellenirányból a menetirány nincs lezárva, azaz érkező vonatnak a vágányút nincs lefoglalva. A 3.9 ábrából jól látható, hogy a második vonat szerelvénye csak akkor fog szabad jelzést kapni, ha az előtte haladó teljes szerelvénye behaladt a 2. térközbe, s így az 1. térköz üressé válik. Ha az állomási kijárat vágányútban útátjáró is található, akkor az 1. térköz üressé válása után indul meg a sorompó lezárási folyamat, és a zárási +biztonsági idő elteltével áll csak szabadra a másodikként induló vonat kijárat jelzője.



3.9. ábra: Két egymást követő szerelvény mozgásának vizsgálata

Az alábbi vizsgálatához a V43 típusú mozdonyhoz kapcsolt 300t tömegű szerelvényt választottam, melynek maximális sebessége 120 km/h és hossza 200m. A vonal magassági vonalvezetésileg a bejárat jelzőtől egyenesen emelkedik 5‰-kel az első térközjelzőig, majd 2850 mh. 0‰, ezt követi a 1,5‰-es lejtő 2000m-en, s a vizsgált szakasz végén 2,5‰-es emelkedő található 1500m hosszban. Az állomás ki és bejárat jelzői között egy útátjáró található. Azt vizsgáltam, mekkora távolság alakulhat ki a két szerelvény között, ha azok az

állomásról indulnak. A szerelvények peron mellől indulnak, melyen a megállás helye a kijárat jelzőtől 350m-re van, a kitérő körzet hossza a kijárat és bejárat jelző között 600m. A bejárat jelzőtől az első térköz 1700m-re található, az ezt követők rendre 1850m-re.

A két szerelvény mozgását összehasonlítva, csak kitérő irányban tudja az állomást elhagyni, ezért az állomás területének elhagyásához is több időre lesz szüksége, az idő ábráján a két szerelvény helyzetét jelöltem abban az időpillanatban, amikor a „B” vonat a bejárat jelző mellé ér. Ekkor az „A” vonat a 4. térközben fog tartózkodni, s így két üres térköz (2; 3 tk.) lesz a két vonat között, ekkor már az „A” szerelvénye a vonat maximális sebességével fog haladni, míg „B” ekkor kezdi meg a gyorsítás 40 km/h-ról. A két vonat között a távolság addig nő, míg a második el nem éri az előtte haladó sebességét. Ez az állapot az „A” vonat elindulását követő 7. percben fog bekövetkezni, s a vizsgált esetben a két szerelvény közötti távolság 7km és 934m-re adódik, ami 120 km/h alkalmazható legnagyobb sebesség esetén $7,934/120 = 3\text{perc } 58\text{másodperc}$.

A szemléltetett példa jól érzékelteti, hogy a pályának a maximális teljesítő képességét a biztosító berendezés is nagymértékben befolyásolja, ha a jelző kiosztást újratervezik és az első térközt, jóval rövidebbre vesszük, például általános fékút közelébe, akkor a két vonat közötti követési távolság is jelentősen le fog rövidülni. Viszont a jelzők kiosztását sem lehet egyik napról a másikra megváltoztatni, a menetrendi kapacitás növelésére sokkal jobb megoldás ha az első térközt a kitérőkörzettől elválasztjuk a bejárat jelzők hátoldalára felszerelt önműködő térközzel. Így sem a vonali, sem az állomási biztosító berendezést nem kellene jelentős mértékben átalakítani. S viszonylag kis költség mellett kivitelezhető lenne.

Természetesen ennek csak azokon az állomásokon van jelentősége, ahol a kijárat és bejárat jelzők között legalább 500m a távolság. A budapesti elővárosi betétjáratok fordító állomásain kivétel nélkül indokolt lenne a plusz egy térköz létrehozása, mert ezzel a gyors, IC és zónázó vonatok 1-2 perces késésének hatását lehetne a betétjáratnál minimalizálni, s így elkerülhető lenne a követő vonat feltartása a menetrendszerinti közlekedésben.

3.6. A menetrend meghirdetése:

A statikus menetrendhez képest a dinamikus menetrendben két menetvonal tartozik egy vonathoz, így fokozottan figyelni kell arra, miként kerül az utasoknak meghirdetésre, továbbra sem szabad a vonatnak a kiírt menetrendnél korábban közlekednie, mert akkor az utasok könnyedén lemaradnának vonatukról, és joggal panaszkodhatnak. Két érkezési, indulási idő adata sem lehet egy vonatnak, mert az kaotikussá teheti annak értelmezését, ezért az utasoknak a legkorábbi menetvonalhoz tartozó idő adatokat kell feltüntetni, s a tényleges menetrend szerint történő közlekedés esetén (elsődleges menetvonal) sem jelent olyan nagy problémát, ha a vonat a másodlagos polgári menetrendben meghirdetetthez képest 3-4 perc „késéssel” érkezik.

Az utas szempontjából az a legfontosabb, hogy a végállomásra menetrend szerint időben érkezzen, ha másik vonatra szeretne átszállni, akkor azt pár perc késés miatt ne kelljen a következőre várni, mert az előző csatlakozást vonata elmulasztotta.

4. Összefoglalás

Menetrend készítés szempontjából kétvágányú vasútvonalra a legegyszerűbb menetrendet készíteni, mert ott a két forgalmi irány jól elkülöníthető egymástól, mert a menetrend szempontjából a legkényesebb vonatkeresztek tervezésével nem kell foglalkozni. A menetrendben jelentkező késéseket is a kétvágányú vonal esetében lehet a lehető leggyorsabban helyreállítani, az ellenirányba közlekedő vonatok megkésése nélkül. Viszont a kétvágányú vonalra tervezett menetrendnél óriási problémát jelent, ha egy állomásközből az egyik vágányt ki kell zárni a forgalomból. Ez esetben szinte lehetetlenné válik a menetrendszerű közlekedés fenntartása.

Magyarország vasúthálózati térképén, feltüntettem mely vasútvonalak kétvágányúak (4.1 ábra). Az ábráról jól látszik, hogy a nagyforgalmat lebonyolító vasútvonalaink mind kétvágányúak, viszont érdemes azt is megfigyelni, hogy hosszukat tekintve e vonalaknak közel 1/3-a a Budapesti elővárosi közlekedésnek része. Egyvágányú vonalainkon a fő problémája a menetrendileg jól működő vonattalálkozások megszervezése. Az elővárosi vonalak esetében a legnagyobb probléma a vonatok egymás utáni berendezése, s az hogy menetrendi közlekedésük nagymértékben függ a távolsági közlekedéstől. A dolgozatban hozott példák, bár kicsit szélsőséges eseteket mutatnak be, viszont jól érzékelhetők a statikus menetrend kötöttségei.



4.1. ábra: Magyarország kétvágányú vasútvonalai

A jelentősebb forgalmat bonyolító egyvágányú vonalainkat nem lehet egyik napról a másikra kétvágányúra átépíteni, sok esetben teljesen indokolatlan lenne napi néhány pár vonat kritikus keresztezése miatt megépíteni a második vágányt. Európa fejlettebb vasúti közlekedése sem engedheti meg magának azt a luxust, hogy napi 1-2 pár vonat miatt építsen +1 vágányt. Viszont az sem megengedhető, hogy a menetrendbe olyan puffer időket építsünk be, mellyel biztosíthatjuk a „Mi van, ha késik?” esetet.

A dolgozatomban feldolgozott dinamikus tervezett menetrend segítségével fel lehetne oldani a statikus menetrendek szűk keresztmetszeit, s ezzel egy időben a vasúti menetrend stabilitása nőne, a vasúti hálózat pedig optimálisabban lenne kihasználva. A vonattalálkozások dinamikus áthelyezése egyben a vontatási energia felhasználására is kedvező hatással lenne, viszont ennek elsődleges feltétele a megfelelő információs hálózatok telepítése.

A dinamikus menetrendek a vasúttervezésben is jól felhasználhatók, mert segítségével, jól szimulálhatók lennének, mely állomásokra milyen mértékben van szükségünk. A fejlesztési sebességre elkészített menetrendről az állomások szükséges vágányszámán kívül, meglehetne határozni, hogy csatlakozó vonal esetében milyen mértékű fejlesztésre van szükség, a menetrendi pókok tarthatósága végett. Jó példa erre a Szolnok – Debrecen vonalszakasz átépítése, itt 120 km/h helyett 160 km/h fognak közlekedni a vonatok, vajon vizsgálta-e bárki is, milyen hatással lesz ez a Budapest – Miskolc vonalról érkező csatlakozó vonatok menetrendjére. Vajon minden vonat el fogja érni csatlakozását, ha a mellékvonalakhoz nem nyúlunk hozzá? Vagy egy szárnyvonal esetében, mely nem csatlakozik másikkhoz, vajon a forduló idő tartható lesz-e, vagy újabb szerelvényt kéne a menetrend érdekében közlekedtetni? Ha újabb szerelvény közlekedik lesz-e állomás ahol keresztezhetnek? Ezen kérdések mindegyikére választ ad a dinamikus menetrend, ha azt már a tanulmánytervek részeként elkészítenék.

A dinamikus menetrend bevezetése a vasúti közlekedésben nem jelentene többlet költséget az üzemeltetőnek, viszont az optimálisabb pályahasználattal, a vasúti infrastruktúrát használók csak nyerhetnének. A várható pozitív hatásait az utasok is díjaznák. A statisztikák is azt mutatják, hogy egy pontosan menetrend szerint közlekedő vasúton az emberek szívesebben utaznak, s így gyakrabban is veszik igénybe szolgáltatásait.

Dolgozatom alapján javasolnám, kísérleti jelleggel készüljön egy dinamikus menetrend a nyári Balatoni menetrendre, s az így szerzett üzemi tapasztalatok alapján terjessze ki azt a MÁV teljes vasúthálózatára. Továbbá javaslom, hogy hosszú kitérőkörzettel rendelkező állomások esetén az első térközt válasszák szét a bejárat jelző hátoldalára felszerelt a nyíltvonal önműködő biztosító berendezéshez tartozó jelzővel. Első kísérleti jellegű bevezetését Monor állomására javaslom.