



TÓTH BÉLA

okleveles gépészmérnök
nyugalmazott MÁV mérnök főtanácsos

Vasúti menetrend-tervezés a menetdinamika számítástechnikai eszközeinek segítségével

Összefoglaló

Új fejlesztés

A korábbi MÁV-fejlesztések eredményének felhasználásával a Hunga-Rail Kft. kifejlesztett egy egységes számítógépi szoftver-rendszert a vasútüzemmel szorosan összefüggő pálya- és járműadatok kezelésére, a menetidők és az energiafelhasználás alakulásának, valamint a vasúti üzemi jellemzők adatainak kiszámítására és megtervezésére.

A szoftver alkalmassá lett téve a vonóerő-kifejtés nélküli kifuttatások, valamint az erre alkalmas villamos hajtások energia-visszatáplálási műveletei révén elérhető gazdasági megtakarítások meghatározására is.

Ez a szoftver a MeDina (menetdinamika) azonosító jelet kapta.

Béla Tóth

Dipl. Maschinenbauingenieur
Oberbaurat a D., i. R. in MÁV

Eisenbahnfahrplanplanung mit Hilfe der Mittel der fahrdynamischen Rechentechnik

Kurzfassung

Neue Entwicklung

Mit der Anwendung der Ergebnisse der früheren MÁV-Entwicklungen hat die Hungarail GmbH ein neues, einheitliches Softwaresystem entwickelt, das für die Handlung der Strecken- und Fahrzeugdaten im Zusammenhang des Eisenbahnbetriebes, für die Rechnung des Ablaufes der Fahrzeit und des Energieverbrauches und für die Rechnung und Planung der eisenbahntechnischen Kennwerte geeignet ist. Das Software (MeDina) wurde auch für die Bestimmung der erreichbaren ökonomischen Ersparnisse geeignet, die durch die Ausläuffahrten und die Rekuperationsbremsung der dafür geeigneten, elektrischen Antriebe entstehen.

Béla Tóth

MSc Mech. Engineer
Retired MÁV Technical Adviser

Designing Railway Timetable helping by the computer-technique for running dynamics

Summary

A new development

Using the results of the earlier MÁV-developments, HungaRail Ltd. has developed a unified computer software system for controlling track and vehicle data due to the railway operation, as well as for calculating and designing the energy consumption and the operating characteristics.

Furthermore, the software proved to be suitable for the calculation of the possible economic saving due to approach braking and due to energy recuperation if a suitable electric traction exists.

This software has been named as „MeDina”.

I. Bevezetés

A vasútvezetésnek szükségszerű törekvése a minél biztonságosabb és gazdaságosabb üzemvitel megvalósítása. Ehhez adott segítséget a MÁV korábbi szervezetében működő Fejlesztési és Kísérleti Intézet, a Vasútgépészet című folyóiratában időről-időre részletesen beszámolva az elért eredményekről.

Az új idők követelményei azonban szükségessé tették új feladatok felvetését és megoldását. A korábbi MÁV-fejlesztések eredményének felhasználásával a HungaRail Kft. most

kifejlesztett egy **egységes számítógépi szoftver-rendszert** a vasútüzemmel szorosan összefüggő pálya- és járműadatok kezelésére, a menetidők és az energiafelhasználás alakulásának, valamint a vasúti menetrendi szerkezetek adatainak meghatározására ezen kívül, pályarekonstrukciók esetén szükséges vágányzárak forgalmi fázisterve által meghatározott menetrendi módosítások optimális megszerkesztésére. A szoftver alkalmas továbbá a vonóerő-kifejtés nélküli kifuttatások, valamint az erre alkalmas villamos

hajtások energia-visszatáplálási műveletei révén elérhető gazdasági megtakarítások kiszámítására is.

Ez a szoftver a **MeDina** (menetdinamika) azonosító jelet kapta.

Alaptételek

A vasúti közlekedés voltaképpen egy egydimenziós közlekedési mód. Ez azt jelenti, hogy egy vonat mozgása csak egyetlen koordináta – a beállított vágányút – mentén történhet. E tény alapján a vasúti jármű menetének dinamikai és energetikai vizsgálata – a kétdimenziós felszíni

közlekedési módok lehetőségeihez képest – egyszerűbbé és eredményesebben elemezhetővé válik. A vizsgálatok leghatékonyabban számítógépes menetszimuláció segítségével végezhetőek el, aminek révén valóságos pálya- és járműadatokra alapozott eredmények képezhetőek egy-egy menetfázisra, vagy bármely vonalon történő teljes, menetrend szerinti vonatmenetre.

Az acélsínen gördülő acél kerekes vasúti jármű gördülési ellenállása mindössze tized akkora, mint bármely gumikerekes közúti járművé, ami által a vasúti jármű teljes menetellenállása (a légellenállást is figyelembe véve) a közútiénak csak 15...20 százalékát teszi ki, a 60...120 km/h sebességtartományban. Ezek a tények lehetővé teszik, hogy – alkalmas vezetéstechnika (megtervezett kifuttatások alkalmazásával – jelentős (5...20%) vonóerő-munka-, és ezáltal vonatvábbítási energiaköltség megtakarítás legyen elérhető, viszonylag jelentéktelen (0,5...2%) menetidő-növekmény árán.

II. A MeDina-szoftver szolgáltatásai

- Menetrendi pályaadatok előállítása a hossz-szelvény adataiból
- A vonatok adatállományának részletei
- A menetszimuláció
- A menetidő-táblázat és a vonatvábbítási energiafelhasználás
- Valós idejű menetrendi adatok a grafikus menetrend megszerkesztéséhez

II/1. Menetrendi pályaadatok előállítása

A *menetrendi vonalaknál* alkalmazott hossz-mértékegység a kilométer (1000 m). A menetrendi vonal kezdőpontja 0 km, és a méret-paraméterek folyamatosan növekednek a végállomásig. A menetrendi vonal azonosítója egy 1...3 karakteres számjegy.

Az *építési pályaszakasz* mértékegységeként az ún. szelvényszám (100 m) lett bevezetve. Minden egyes

építési pályaszakasz kezdőpontja a 0-szelvény jelet kapja. A jelen szoftverben, az építési pályaszakaszokat az azonosító vonalszám előtt alkalmazott „MF” előtag különbözteti meg.

Valamennyi menetrendi vasútvonal egy vagy több építési vonalszakaszból tevődik össze. Az utasok, illetve a szállítók csak a hivatalos menetrendkönyvben megjelenített menetrendi km-adatokkal találkozhatnak, az üzemeltető számára azonban rendelkezésre kell állnia az összetevő pályaszakaszok szelvényezési adatainak is.

A MÁV vonalainak jellemző szerkezeti összeállítása látható az *1. táblázatban* bemutatott példákban.

II/2. A vonatok adatállományának részletei

Az adatállomány tartalma:

- A kijelölt vonal azonosítója (menetrendi vonal)
- A menetirány (páros, páratlan)
- A vonat azonosítója
- A vonattípus (személy, teher, zárt motorvonat)
- Vonatterhelés (tonna)
- Maximális vonatsebesség (km/h)

II/3. A menetszimuláció

A *hiteles menet-szimuláció* végrehajtásának feltételei és eszközei:

- a vonatmozgás dinamikai és energetikai folyamatainak pontos ismerete,
- megfelelő számítástechnikai eszközrendszer.

A *menetszimulációt végrehajtó szoftver jellemzői*

A számítógépi program lényegében a fizikai folyamatokat modellező differenciál-egyenletrendszer számítógépes megoldását szolgáltatja másodperces nagyságrendű idő-léptetéssel.

A program minden egyes idő-léptetésre meghatározza

- a megtett út értékét,
- a pillanatnyi sebesség értékét,
- az eltelt idő értékét,
- a pillanatnyi vonóerő-értékét,
- a pillanatnyi menetellenállás-értékét,
- a pillanatnyi fékezőerő-értékét.

A *vonatmozgást befolyásoló erőhatások:*

- A haladás irányával megegyező értelemben ható gyorsító erő.
- A haladás irányával ellentétes értelemben ható lassító erő.

1. táblázat

Példák a menetrendi vonalak különféle összetételére

Építési vonal	Pályaszakasz kezdete	Pályaszakasz vége	Szelvény-kezdet	Szelvény-vég
1. számú menetrendi vonal – 184,95 km				
MF18	Bp. Keleti pu.	Hegyeshalom	0	1878,3
120. számú menetrendi vonal – 224,24 km				
MF19	Bp. Keleti pu.	Rákos	0	77
MF120	Rákos	Újszász	0	759
MF55	Újszász	Szolnok	520	685,5
MF141a	Szolnok	Szajol	1009	1112,3
MF131	Szajol	Lókősháza	0	1143,92
40. számú menetrendi vonal – 226,93 km				
MF17	Bp. Déli pu.	Bp. Kelenföld	0	41,66
MF21	Bp. Kelenföld	Szentlőrinc	0	2059,58
MF35	Szentlőrinc	Pécs	237,38	49,41
70. számú menetrendi vonal – 63,1 km				
MF23	Bp. Nyugati pu.	Szob	0	631

Gyorsító-erő összetevők:

- a gépezet által előállított vonóerő,
- a gravitációs erő, pályalejtőben.

Lassító-erő összetevők:

- a menetellenállás,
- a fékberendezés által előállított fékezőerő,
- a gravitációs erő, pályaelemelkedésben.

A menetfolyamat a felsorolt adatokból képzett diagramokon is szemléletesen ábrázolható.

A program egyidejűleg kiszámítja az egyes idő-léptetésekre eső energiaelem értékét, sorra összegezi azokat, és eredményül adja a teljes vonatmenetre eső

- a vonóerő munkát,
- az ellenállási energiaveszteséget,
- a fékezőerő munkát.

II/4. A menetidő- és a vonattovábbítási energiafelhasználás

A menetidő- és energiafogyasztás jellemző adatai a 2. táblázatban találhatóak.

II/5. Valós idejű menetrendi adatok a grafikus menetrend megszerkesztéséhez

A menetrendi adatok, amik a szolgálati menetrend alapadatait valamint a grafikus menetrend elkészítéséhez szükséges fő adatokat tartalmazzák a 3. táblázatban találhatóak. Ez az adatszerkezet a következő viszonylatok képzésére alkalmas:

- Egy teljes menetrend adatrendszer.
- A tartózkodási idők megnövelése a menetrendben meghatározott bármely megállási helyen.
- Páros és páratlan menetirányú vonattalálkozások helyének és időpontjának kitűzése.
- Mindkét menetirányban ütemes menetrend elkészítése, tetszőleges ütemidő mellett.

Összefoglalás

Az ismertetett program segítségével készített menetrend bevezetése egy

A menetidő- és energiafogyasztási adatszerkezet

Menetidő adatok

RÖVID ÉS RENDES MENETIDŐK

(A rendes m-idő meghatározás az UIC 451-1 VS ajánlás szerint)

Vonalazonosító:	120		
Vonattípus:	Személy		
Vonatterhelés:	500 t		
Vonathossz:	330 m		
Max. vonatsebesség:	100 km/h		
Vontatójármű:	V43		
	km	perc	perc
0,0	Bp. Keleti pu.		
4,6	Kőbánya-felső	4,6	4,8
3,1	Rákos	3,5	3,8
6,1	Rákoshegy	4,8	5,0
4,2	Rákoskert mh.	2,5	2,7
2,0	Ecser mh.	1,2	1,3
2,4	Maglód	1,4	1,5
1,8	Maglódi nyaraló mh.	1,1	1,2
2,4	Gyömrő	1,5	1,5
3,6	Mende	2,1	2,3
2,8	Pusztasz. István mh.	1,7	1,8
4,5	Sülysáp	3,1	3,3
2,5	Szőlőstelep mh.	3,1	3,2
4,4	Tápiószecső	4,0	4,2
5,1	Szentmártonkátá mh.	4,5	4,8
5,0	Nagykátá	4,4	4,7
6,0	Tápiószentmárton mh.	5,1	5,4
3,8	Farmos mh.	3,6	3,8
2,9	Tápiószéle	3,3	3,4
6,2	Tápiógyörgye	5,1	5,4
10,2	Újszász	7,5	8,0
5,2	Zagyvarékas mh.	4,6	4,9
4,6	Abonyi út mh.	3,8	4,0
6,8	Szolnok	4,5	4,8
100,2		81,0	85,8
Min. tartózkodási idő:	13,0 perc		
Vonóerő-munka:	1391,2 kWh		
Fékerő-munka:	824,9 kWh		
Bruttó energiafogyasztás:	1739 kWh		
Visszatáplálható energia:	0 kWh		
Nettó energiafogyasztás:	1739 kWh		

A „rendes” menetidő a vonat műszaki feltételei alapján megvalósítható legrövidebb menetidő UIC ajánlás szerinti biztonsági tartalékkal megnövelt értéke.

A vonóerő-munka és a belőle származtatott valamennyi energetikai jellemző a rövid menetidő esetére van meghatározva

hatékony lépés a vonattovábbítási költségek csökkentésére. A forgalomban levő vasúti járművek futástechnikai jellemzőinek pontos ismeretében, a jelen szoftver lehetőséget ad az adott vonat leggazdaságosabb üzemeltetésének meghatározására, az előírt menetidő feltételek mellett.

A szoftverben alkalmazott legfontosabb műveletek matematikai vázlat a mellékletben található.

Melléklet

A számítási módszerek matematikai vázlat – A menetidő- és a vonattovábbítási energiafelhasználás

A vonatmenet dinamikai és energetikai elemzése kapcsán meg kell gondolnunk, hogy amíg a dinamikai állapot a mindenkori pillanatnyi erők egyensúlyi feltételein alapul, addig az energetikai állapot egy-egy meghatározott időkeretben megvalósuló energia-folyamatok egyensúlyát fejezi ki. Mindezen tényeknek fontos következményei vannak:

Dinamikai vizsgálatok során menetellenállásként kell tekinteni minden olyan pillanatnyilag működő erőhatást, amely a vonatra a vonóerő irányában, de azzal ellentétes értelemben hat (alapellenállás + ívellenállás +

emelkedési ellenállás). A dinamikai vizsgálat matematikai alapja a Newton-törvény ide vonatkozó kifejezése:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{F_{von} - F_{ell} - F_{fék}}{(1 + \delta) \cdot M}$$

- ahol
- V – vonatsebesség [m/s]
 - t – idő [s]
 - F_{von} – vonóerő [kN]
 - F_{ell} – menetellenállás [kN]
 - F_{fék} – fékező erő [kN]
 - M – vonattömeg [t]
 - δ – forgó-tömeg együttható

Energetikai vizsgálatok során azonban, menetellenállásként az előbbiekből csak az energiaveszteséget (disszipációt) közvetlenül előidéző összetevők (alapellenállás + ívellenállás) vehetők figyelembe. Az emelkedési ellenállás ugyanis, önmagában energiaveszteséget nem okozva, csupán a vonat *helyzeti energiáját* – pozitív vagy negatív (emelkedés vagy lejtés) értelemben – módosítja.

A választott vizsgálati modell alkalmas arra, hogy segítségével egy „Bernoulli-típusú” összefüggés legyen felállítható a vontatás energetikai egyensúlyának kifejezésére, melynek *alaptétele* az, hogy a menetvonal tetszőlegesen kijelölt két – belépési és kilépési – pontja közötti vonalszakaszon belül a következő energetikai reláció létezik:

a vizsgált vonalszakasz belépési pontjánál létező

helyzeti- és lendületi energiataralom,

valamint

a vonalszakaszon belül végzett **vontatási munka összege**

egyenlő

a vizsgált vonalszakasz kilépési pontjánál létező **helyzeti- és lendületi energiataralom,**

valamint

a vonalszakaszon belül felemészthető **menetellenállási- és fékezési energiaveszteség összegével.**

Matematikai eszközökkel kifejezve:

$$m \cdot g \cdot h_{be} + \frac{(1 + \delta) \cdot m \cdot v_{be}^2}{2} + W_t = m \cdot g \cdot h_{ki} + \frac{(1 + \delta) \cdot m \cdot v_{ki}^2}{2} + E_r + E_b$$

Az egyenletben

$$W_t = \int_{S_{be}}^{S_{ki}} F_t \cdot ds \text{ a vonóerő munkája}$$

$$E_r = \int_{S_{be}}^{S_{ki}} F_r \cdot ds \text{ az ellenállási energiaveszteség}$$

$$E_b = \int_{S_{be}}^{S_{ki}} F_b \cdot ds \text{ a fékezés energiaveszteség}$$

Ahol:

S_{be}, S_{ki} – a vonalszakasz belépési, illetve kilépési pontjának koordinátája
 d_s – elemi elmozdulás a pályán
 h_{be}, h_{ki} – a belépési, illetve a kilépési pont magassága egy alapszinttől
 v_{be}, v_{ki} – vonatsebesség a belépési, illetve a kilépési ponton

3. táblázat

A menetrendi adatszerkezet

	km	M.idő	Tart.	Érk. idő	Ind. idő
Bp. Keleti pu.	0	0			7, 20
Kőbánya-felső	5	5	1	7, 25	7, 26
Rákos	8	4	1	7, 30	7, 31
Rákoshegy	14	5			7, 36
Rákoskert mh.	18	3			7, 39
Ecsér mh.	20	1			7, 40
Maglód	22	2			7, 42
Maglódi nyaraló mh.	24	1			7, 43
Gyömrő	27	2			7, 45
Mende	30	2			7, 47
Pusztasz. István mh.	33	2			7, 49
Sülysáp	38	3	1	7, 52	7, 53
Szőlőstelep mh.	40	3	1	7, 56	7, 57
Tápiószecső	44	4	1	8, 1	8, 2
Szentmártonkáta mh.	50	5	1	8, 7	8, 8
Nagykátá	55	5	1	8, 13	8, 14
Tápiószentmárton mh.	61	5	1	8, 19	8, 20
Farmos mh.	64	4	1	8, 24	8, 25
Tápiószéle	67	3	1	8, 28	8, 29
Tápiógyörgye	73	5	1	8, 34	8, 35
Újszász	84	8	3	8, 43	8, 46
Zagyvarékas mh.	89	5	1	8, 51	8, 52
Abonyi út mh.	93	4			8, 56
Szolnok	100	5		9, 1	

	km	M.idő	Tart.	Érk. idő	Ind. idő
Szolnok	100	0			8, 29
Abonyi út mh.	93	5			8, 34
Zagyvarékas mh.	89	3	1	8, 37	8, 38
Újszász	84	5	3	8, 43	8, 46
Tápiógyörgye	73	8	1	8, 54	8, 55
Tápiószéle	67	6	1	9, 1	9, 2
Farmos mh.	64	3	1	9, 5	9, 6
Tápiószentmárton mh.	61	4	1	9, 10	9, 11
Nagykátá	55	5	1	9, 16	9, 17
Szentmártonkáta mh.	50	5	1	9, 22	9, 23
Tápiószecső	44	5	1	9, 28	9, 29
Szőlőstelep mh.	40	4	1	9, 33	9, 34
Sülysáp	38	3	1	9, 37	9, 38
Pusztasz. István mh.	33	4			9, 42
Mende	30	2			9, 44
Gyömrő	27	2			9, 46
Maglódi nyaraló mh.	24	2			9, 48
Maglód	22	1			9, 49
Ecsér mh.	20	2			9, 51
Rákoskert mh.	18	1			9, 52
Rákoshegy	14	3			9, 55
Rákos	8	4	1	9, 59	10, 0
Kőbánya-felső	5	4	1	10, 4	10, 5
Bp. Keleti pu.	0	5		10, 10	

A páratlan irányú vonatnak Újszász állomáson kell a páros irányúval találkoznia, közös, 3 perces tartózkodási idő mellett.

Menetdiagramok

a „Menetszimuláció” c. fejezet eredmény-adataiból generálva

