



## Prof. Dr. ZOBORY ISTVÁN

egyetemi tanár, a „Kandó Kálmán” doktori iskola vezetője

BME Közlekedésmérnöki Kar Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék

# A vasúti közlekedés energetikai optimalizálásának három fő feladata

### Összefoglaló

A vonattovábbítás energiaigényére az alkalmazott járművek dinamikai és energiahasznosítási jellemzői, a pályatopológiai jellemzők, a pálya mentén megengedett sebesség adatai, a menetrendi előírások, valamint a járművezetők vezérlési tevékenységének jellemzői gyakorolnak döntő befolyást. A cikk bemutatja az adott vonattovábbítási feladat energiaigényének minimalizálásához szükséges három alapvető fontosságú feladatot, nevezetesen: 1.) a vontatási feladathoz a legkedvezőbb járműtípus hozzárendelést, 2.) az energiaoptimalis menetrend kidolgozást és 3.) az adott jármű és adott menetrend esetén a vontatójármű optimalis vezérlésének feladatát. Bemutatásra kerül a harmadik főfeladat három lehetséges megoldása, melyek mindegyike a vonatmozgás fedélzeti számítógépes vezérlésére támaszkodik, eltérő automatizálási fok mellett.

*Prof. Dr. István Zobory*  
Universitätsprofessor, Leiter der  
Doktorschule „Kálmán Kandó”,  
BME Fakultät für Verkehrswesen,  
Lehrstuhl für Schienenfahrzeuge und  
Fahrzeugsystemanalyse

Über die drei Hauptaufgaben in der energetischen Optimierung des Eisenbahnverkehrs

### Kurzfassung

Die dynamischen und energetischen Eigenschaften der Fahrzeuge, die Trassierungsparameter, die auf der Strecke zulässige Geschwindigkeit, die Fahrplanschichten und die Steuertätigkeit der Fahrer üben einen entscheidenden Einfluß auf den Energiebedarf der Zugförderung aus. Der Artikel stellt die drei grundsätzlich wichtigsten Aufgaben dar, welche für die Minimierung des Energiebedarfs der gegebenen Zugförderung notwendig sind, nämlich: 1.) Die Zuordnung des günstigsten Fahrzeugtyps zu der Aufgabe der Zugförderung, 2.) Die Ausarbeitung des energieoptimierten Fahrplanes und 3.) Die Aufgabe der optimierten Steuerung im Falle des gegebenen Fahrzeuges und gegebenen Fahrplanes. Die drei möglichen Lösungen der dritten Hauptaufgabe werden dargestellt, welche alle auf der On-Board-Steuerung der Zugbewegung basieren, neben unterschiedlichen Automatisierungsgrad.

*Prof. Dr. István Zobory*  
Head of Doctoral School “Kálmán Kandó”,  
BME, Faculty of Transportation Engineering,  
Department of Railway Vehicles and Vehicle System Analysis

On the three main tasks in the energetic optimization of railway transport

### Summary

The energy demand of the train motion is decisively determined by the dynamical and energetic characteristics of the vehicles applied, the characteristics of the track topology, the data of permitted speed along the track, the traffic scheduling, as well as the characteristics of the control activity realised by the loco-drivers. The paper points out the three main tasks to be solved for minimising the energy demand of the train motion, namely 1.) The allocation of the optimum vehicle type to the train motion demand, 2.) The elaboration of an energy optimum scheduling and 3.) The optimum control of the traction unit under given track, vehicle type and scheduling conditions. The three possible solutions of main task No 3 is also introduced, all of the solutions are based on board computer control, utilising different degree of automation.

A vonattovábbítás energiaszükségletére számos tényező van befolyással. Ezen tényezők között szerepelnek a továbbítandó vonatra jellemző vonó- és fékezőerő függvények a sebesség és a vezérlés (mint két független változó) függvényében, a megvalósuló vonó- és fékezőerőtől és

járműsebességtől függő kétváltozós hatásfok függvények, a vonatban szereplő járművek járműterheléstől és sebességtől függő menetellenállás függvényei, a vasúti hálózat emelkedési és irányviszonyait leíró adatrendszer, valamint a vonatközlekedés időrendjét rögzítő menetrendi

követelmények. A fentiekben említett tényezők közül a vasúti pálya és a továbbítandó vonat műszaki jellemzői, valamint a menetrendi előírás mint *peremfeltétel-rendszer* határozza meg az *energiszükséglet statikus* részét, míg az energiaszükséglet fennmaradó *dinamikus* része a mozdonyvezető ál-

tal megvalósított *vezérlés* (kontroller-helyzet és fékkar állás) *időbeli alakulásától* döntő mértékben függ. Ezen rövid gondolatmenet is mutatja, hogy az adott műszaki feltételek és időrendi előírások mellett *a mozdonyvezető vezérlési tevékenysége véglegesíti a vonattovábbítás során felhasznált összenergia nagyságát.*

Amennyiben egy vasúttársaság adott regionális domborzati viszonyok közt létező vasúti pályáit – a vasúti hálózatot – rögzítettnek tekintjük, továbbá ha feltételezzük, hogy a vasúttársaság meghatározott tulajdonságú vontató és vontatott járművekkel rendelkezik, és az adott hálózaton a meglévő járműparkkal kell *energiaoptimalis* közlekedési rendszert kialakítani, akkor a következő három fő feladat megoldása szükséges:

1. A vontatójárművek energiaátviteli tulajdonságai alapján hozzá kell rendelni az egyes járműtípusokat a fellépő vontatási feladatokhoz, és pedig oly módon hogy a tervezett közlekedés menetábrái alapján a vontatójármű választékból kiválasztjuk a vontatási feladat ellátásához **relatív legkedvezőbb járműtípust.**
2. Az 1. pont szerint meghatározott járműtípus és vonattovábbítási feladat hozzárendelés után a vasúti hálózat minden egyes viszonylatára meghatározandó azon **energiaoptimalis menetrend változat**, amely figyelembe veszi, hogy a menetdinamikai alapon megfelelő tartalékidők hozzávételével tervezett utazási idő mellett a vonat továbbításához a lehető legkisebb energiafelhasználás legyen szükséges.
3. A 2. pont szerint megtervezett menetrend ismeretében a **vontatójárműveket (motorvonatokat) energiaoptimalisan kell vezérelni** az adott – *mindenkor bizonyos mértékű zavarral terhelt – forgalmi viszonyok között.* Ez a mozdonyvezető tevékenységét érintő kérdés. Tekintettel arra,

hogy a vezetési tevékenységével az **energiaszükségleti funkcionál minimalizálását** kellene elérnie, *korszerű megoldásként a megfelelő vezérlés kialakítását legalább részben, de a közeljövőt tekintve egészében folyamatirányító fedélzeti számítógépre célszerű bízni.*

A fentiekben körvonalazott *három fő feladat* mindegyikének megoldásában alapvető szerepet játszik a vonatmozgás **számítógépes szimulációját** felhasználó technika.

Ez a technika az **1. fő feladat** megoldásában a kívánt vonatmozgások szimulációjával szolgáltatja a tervezett vonatmozgás jellemzői (adott max. sebesség, megengedett max. gyorsulás és legintenzívebb lassulás, előírt menetidő, stb.) mellett jelentkező *üzemi terhelésállapoteeloszlásokat.* Másrésztől a vontatójárművek határfok jellegfelületei ismeretében egyszerűbb esetben **lineáris programozással**, összetettebb esetben **nemlineáris optimalissal** meghatározható az adott vontatójármű üzeme esetén az **energiafelhasználás minimumát jelentő ideális terhelésállapot eloszlás.** Az 1. feladat megoldása ez után úgy történik, hogy az adott vonattovábbítási üzemi terhelésállapot eloszlással jellemzett vonatmenetek megvalósításához **azon vontatójármű fajtát választjuk ki (rendeljük hozzá), amelynek az ideális terhelésállapot eloszlása az**

**eltérés-négyzetek minimuma értelmében a legközelebb fekszik a vonattovábbítás során megvalósítandó üzemi terhelésállapot-eloszláshoz.**

A **2. fő feladat** megoldásában ismét kulcsszerepet játszik a vonatmozgás számítógépes szimulációja. A szimulációt adott műszaki feltételekkel meghatározott vonatokra, és adott emelkedési és irányviszonyokkal bíró vasútvonal topológiára egyrészt erőltetett menetre, másrészt a megálló fékezések előtt különböző nagyságú kifuttatások, továbbá az eső pályaszakaszokon alkalmazott kifuttatások beiktatásával kell végrehajtani. Az így nyert *vonattovábbítási vezérlési változatok* mindegyikéhez meghatározott **energiafelhasználás és menetidő** adódik. Itt nem részletezett megfontolások (költségre vetített súlyozás) alkalmazásával meghatározható mind a társasági szempontból, mind az össztársadalmi szempontból költségoptimalis vezérlésváltozat. Ezek a változatok képezhetik az alapját a menetrend kialakításának, ahol természetesen az energetikai szemponton kívül az utascseréhez és a vonatcsatlakozással kapcsolatos átszállásokhoz szükséges állomási tartózkodási idők, az utazási célpont elérési idővel kapcsolatos, ill. vonatgyakorisági szempontok is nagy súllyal közrejátszanak.

A **3. fő feladat** az adott pálya és az adott vonat előírt menetrendi idő betartása melletti legkisebb energia-

#### Energiaoptimalis vezérlés – az „EnOpt” – a gyakorlatban

A számítógépes program nyújtotta gazdasági előnyök gyakorlatban is bizonyítottak. A BME VJT megbízási munka keretében 2005-ben a MÁV Zrt. a villamos motorvonati tender pályázatainak energetikai ellenőrzését végeztette el, amelyben a menet-szimulációs programmal elvégzett ellenőrző számítások igazolták a később győztes pályázó vonattovábbítási energiafogyasztási ajánlatának helyességét.

A GYSEV Zrt. a BME Vasúti Járművek Tanszék közreműködésével 2009-ben megkezdte az energiaminimális vonattovábbítás elvi és szerkezeti kialakításának vizsgálatát.

A Vasúti Járművek Tanszék által kidolgozott szimulációs módszerrel nyert eredmények szerint a mozdonyok hagyományos gyakorlaton alapuló vezetéséhez képest az optimalizált vezérlés személyvonati üzemben mintegy 12%, gyorsvonati üzemben pedig mintegy 15% energiafelhasználási megtakarítást biztosít. Az energiaoptimalis vezérlési rendszer megvalósítása évi több százmillió forint vontatási költség megtakarítását teszi lehetővé a vasúttársaság számára.

felhasználást eredményező vezérlésnek meghatározása ismét számítógépi szimulációra támaszkodva végezhető el. A vonat vezetése a csupán a mozdonyvezető kiképzésén alapuló, a mozdonyvezető képzettségét, érzékelési és reakcióidőbeli egyedi képességeit, üzemi gyakorlatát és a pillanatnyi pszichikai állapotát tükröző vezérlésválasztásával **eleve nem vezethet egy, az energiafelhasználást egzakt módon minimalizáló vezérléshez.** A vonatmozgás **adott lokális és temporális környezeti feltételeknek megfelelő dinamikai viszonyait csak gyorsműködésű fedélzeti számítógépre** bízva lehet oly módon irányítani, hogy a kialakuló vonatmenet állomásközönként a legkisebb energiafelhasználást eredményezze. A mozdonyvezetői tevékenységet ezek szerint részben vagy csaknem teljesen számítógépre kell bízni, hogy biztosítható legyen az adott vonat, adott pályatopológia és adott menetrend melletti minimális energiafelhasználása és ezzel minimális vontatási energiaköltség igénye. Ehelyütt nincs mód részletesen ismertetni a 3. fő feladat megoldását biztosító vezérlési rendszer részleteit, csupán annyit jegyzünk meg, hogy három – fejlettségi szint szerint egyre előnyösebb – változat kialakítása jelenti a feladat fokozatos, teljes megoldását.

- a) Az első változat a **fedélzeti tanácsadó rendszer**, amelynél a menetdinamikai számítást a folyamatirányító számítógép végzi, azonban az **optimális vezérlésre vonatkozó eredményeket utasításként egy, a mozdony kezelőpultján lévő display-ra vezérli ki, a kontroller és fékkar mozgását már a mozdonyvezető végzi** a display-ról leolvasott utasításoknak (és esetlegesen részben saját elhatározásának) megfelelően.
- b) A második változat a **félautomatikus vezérlő rendszer**, amelynél a menetdinamikai számítást a folyamatirányító számítógép végzi, az **optimális vezérlésre vonatkozó eredményeket egy aktuátorrendszer viszi át a mozdony kezelőpultján lévő kontrollerre és fékkarra. A mozdonyvezető csak szemléli és ellenőrzi a vezetési folyamatot, személyes manuális beavatkozásra csak rendkívüli forgalmi helyzet vagy balesetveszély esetén van szükség, de ez a beavatkozás az eredeti kezelőszervekkel mindig lehetséges.**
- c) A harmadik változat az **automatikus rendszer**, amelynél a menetdinamikai számítást a folyamatirányító számítógép végzi, és az optimális vezérlésre vonatkozó eredményeket közvetlenül a

korszerű mozdony (motorkocsi) saját fedélzeti számítógépébe vezeti. **A mozdonyvezető ebben az esetben is csak ellenőrzi a vezetési folyamatot, személyes manuális beavatkozásra csak rendkívüli forgalmi helyzet vagy balesetveszély esetén van szükség, de ez a beavatkozás az eredeti kezelőszervekkel mindig lehetséges.**

A fentiekben a vasúti közlekedés energetikai optimalizálásával kapcsolatosan röviden bemutatott **három fő feladat** megoldása a **tárgyalásban közölt sorrendben a legcélszerűbb**, azonban olyan eset is realitással bír, hogy a nagyobb lélegzetű 1. és 2. főfeladat ideiglenes átugrásával **az adott, jelenlegi jármű-hozzárendelési és a meglévő menetrendi viszonyok között kerül sor a 3. fő feladat megoldására.**

Ezen utóbbi eset annyiban is elfogadható problémakezelést jelent, hogy a kialakított „vezérlésvéglegesítő” számítógépes eljárás (a.), b.) vagy c.) minden további nélkül alkalmazható marad az 1. ill. a 2. főfeladat további energetikai előnyöket jelentő de később realizált megoldása esetén is. A 3. fő feladat megoldására szabadalmaztatott megoldás áll rendelkezésre.

## A ČD RS1-et vásárol a Stadlertól

A Stadler Pankow GmbH, és a Cseh Vasutak aláírtak egy szerződést 33 db Regio-Shuttle RS1 típusú motorvonat szállításáról.

A szerződés szerint az RS1 regionális célú dízel motorkocsikból 2011 végétől, a menetrendváltástól Vyso körzetébe 17 db, és Liberec térségébe 16 db érkezik. A szerződés értéke 70 millió Euró.

A németeknél 1996 óta 20 üzemeltető 400 RS1 motorkocsija közlekedik 8 tartományban.

A ČD-nek szállítandó RS1 dízel motorkocsik zárt rendszerű WC-vel felszereltek, 71 ülőhelyesek, a csomagoknak, a babakocsiknak, és a téli sportfelszereléseknek külön hely van fenntartva. A mozgáskorlátozottak igényeit is figyelembe vették, mivel akadálymentes átjárhatóságot biztosítottak.

Klímaberendezéssel optimalizálják a világos és barátságos utastereket. A vonatok Liberec körzetében a forgalomba állítandó motorkocsikat próba pályaszakaszon tesztelik max. 100 km/h sebességgel. Vyso körzetében közlekedők sebessége 120 km/h.

Mind a 33 RS1 dízel motorkocsi motorja az új kipufogó gáznormákat teljesíti. (Stage III.b)

A motorkocsik gyártása Berlinben és Veltenben lesz.

Az RS1 a Stadler harmadik leg-sikeresebb terméke, eddig ebből 442 járművet értékesítettek. Ennél többet a FLIRT elődjéből a GTW-ből adott el a cég. (501 db különféle GTW motorvonat). A Stadler vasúti járműgyártócég eddigi leg-sikeresebb terméke – a Magyarországon is jól ismert és közkedvelt FLIRT 579 eladott járművel.

*Forrás: Stadler*