

## JÁRMŰDINAMIKAI SZIMULÁCIÓ ÉS OPTIMALIZÁCIÓ

### VEHICLE DYNAMICS SIMULATION AND OPTIMALIZATION

Szántó Attila<sup>1</sup>, Szíki Gusztáv Áron<sup>2</sup>, Hajdu Sándor<sup>3</sup>, Gábora András<sup>4</sup>, Sipos Kristóf Balázs<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4., Telefon: +36 (52) 415-155, [szanto.attila93@gmail.com](mailto:szanto.attila93@gmail.com)

<sup>2</sup>Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Műszaki Alaptárgyi Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4., Telefon: +36 (52) 415-155, [szikig@eng.unideb.hu](mailto:szikig@eng.unideb.hu)

<sup>3</sup>Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4., Telefon: +36 (52) 415-155, [hajdusandor@eng.unideb.hu](mailto:hajdusandor@eng.unideb.hu)

<sup>4</sup>Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4., Telefon: +36 (52) 415-155, [andrasgabora@eng.unideb.hu](mailto:andrasgabora@eng.unideb.hu)

<sup>5</sup>Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028, Magyarország, Debrecen, Ótemető utca, 2-4, [siposk94@gmail.com](mailto:siposk94@gmail.com)

#### Abstract

In the following the role and contribution of vehicle dynamics simulation to the development of race cars at the Faculty of Engineering of the University of Debrecen is presented. The application of the developed simulation program for the optimization of the car's technical data, together with the principle and method of optimization, is also described here.

**Keywords:** *dynamics modeling, simulation, optimization, MATLAB.*

#### Összefoglalás

A következőkben bemutatjuk a járműdinamikai szimuláció szerepét és hozzájárulását a Debreceni Egyetem Műszaki Karán folytatott járműfejlesztésekhez. Ezt követően ismertetjük a kifejlesztett szimulációs program alkalmazását a versenyautók műszaki paramétereinek optimalizálására, bemutatva az optimalizálási eljárás módszerét és elvét.

**Kulcsszavak:** *dinamikai modellezés, szimuláció, optimalizáció, MATLAB.*

#### 1. Bevezetés

A Debreceni Egyetem Műszaki Kara régóta foglalkozik alternatív hajtású [1] járművek tervezésével, fejlesztésével és kivitelezésével [2, 3]. Számos saját tervezésű és készítésű alternatív (többnyire elektromos vagy pneumatikus) hajtású versenyautót

készítettek már a Kar hallgatói, melyekkel több hazai és nemzetközi versenyen [4, 5] indult és ért el sikereket a Műszaki Kar csapata. A 2014. és 2015. évi MVM futamon, a Gépészmérnöki Tanszéken kifejlesztett versenyautóval, 2. és 1. helyezést értünk el. A 2016-ban és 2017-ben Londonban megrendezett Shell ECO Marathon

versenyen szintén részt vettünk, eredményesen teljesítve a versenytávt.

A versenyeken való minél eredményesebb részvétel érdekében MATLAB [6] környezetben kifejlesztettünk egy szimulációs programot [7], amely az irodalomból [8], [9], [10] ismert és kísérletileg meghatározott műszaki adatokból, mint bemenő paramétereiből kiszámítja a versenyautó menetdinamikai jellemzőit. Ez mára elengedhetetlen feltételévé vált a sikeres versenyzésnek, hiszen a műszaki paraméterek nagyszámú lehetséges értékeiből csak egy ilyen program segítségével tudjuk kiválasztani azon optimálisakat, amelyekkel egy adott versenyfeladat a legeredményesebben teljesíthető.

## 2. Az optimalizációs eljárás leírása

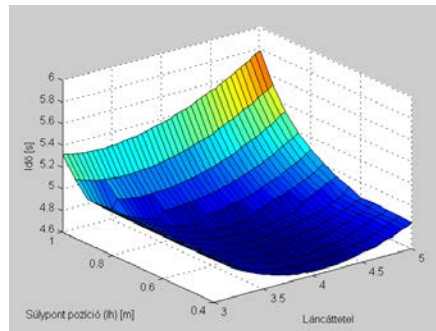
A versenysportban nagyon fontos szerepe van a jármű műszaki adatainak (beállításainak) megfelelő megválasztásának, hiszen egy alapvetően jó járműkonstrukció is csak akkor versenyképes, ha az adott versenycélokhoz igazodva választjuk meg a jármű beállításait. Ezt egy optimalizációs folyamat során tudjuk megtenni.

A szimulációs programunkat [11] alapvetően kétféle esetben tudjuk optimalizációra [12] alkalmazni: az egyik esetben új jármű tervezéséhez, ekkor csak néhány járműparaméter értéke rögzített (például, a versenyszabályzat által) a többi paraméternek kereshetjük a verseny célhoz optimális értékét. Így a szimulációs adatokra támaszkodva megtervezhetjük a versenyfeladathoz (például, 400 m-es gyorsulási versenyhez) a lehető legalkalmasabb versenyautót. A másik eset, amikor egy már meglévő járművet szeretnénk felkészíteni egy versenyre. Ebben az esetben a jármű műszaki adatai közül lényegesen kevesebbet tudunk módosítani, viszont a szimulációs programot és az optimalizációs folyamatot felhasználva így is rengeteg időt tudunk

megspórolni, jelentős költségsökkentés mellett.

A jármű műszaki adatainak optimalizálásához a korábban említett szimulációs programunkat használtuk fel, kiegészítve egy – szintén Matlab környezetben írt – programmal [11]. A folyamat lényege, hogy a szimulációs programhoz szükséges műszaki adatok közül egy vagy több paraméter értékét szisztematikusan változtatjuk, és a szimulációs program sokszori lefuttatása során kapott eredményeket értékelve meghatározzuk az optimális műszaki adatokat az adott verseny célhoz.

Egy vagy két változtatható műszaki paraméter esetén lehetőségünk van egy olyan Matlab program [11] megírására, ami először definiálja a vizsgálandó paramétereket, majd a paraméterek különböző értékei mellett lefuttatja a szimulációs programot. Majd az eredményekből feljegyzi a kívánt célértékhez tartozó paramétereket. Ezeket grafikonon ábrázolva megkereshetjük az optimális értéket. (Erre példa a következő ábra.)



1. ábra. A 40 km/h eléréséhez tartozó idők a láncátételek és súlypont pozíciók függvényében

Több változó esetén már nem tudjuk így két- vagy háromdimenzióban megjeleníteni a kapott célfüggvényt, és leolvasni az optimális értékeket, valamint, már egy és két változó esetén sem praktikus az előző eljárás, hiszen az optimális értékeket (a függ-

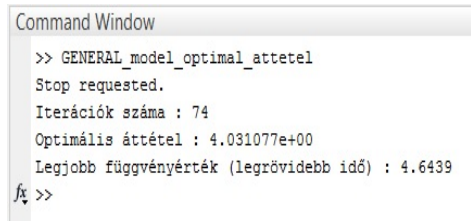
vény minimumát) csak a kapott eredményeket értékelve (ránézésre becsülve, vagy valamilyen eljárással kiszámolva) tudjuk megkapni. Ezért sokkal hatékonyabb a Matlab-on belül a Global Optimization Toolbox-ban található Simulated Annealing (szimulált hűtés) funkció használata. Ennek a működési elve, hogy a program egy adott paraméterteréren keresi az optimumot (ez pl. a függvény minimuma). A paraméterterület lehet egy függvény, vagy ha ilyen nem áll rendelkezésünkre, akkor a szimuláció – különböző paraméter értékekkel történő – futtatásából kapott pontok halmaza. Az optimumkeresés úgy történik, hogy egy adott pontból kiindulva (ez a pont tetszőlegesen megadható) a program bizonyos méretű ugrásokkal (ez a „hűtés sebessége”) megvizsgálja a következő pont értékét, és összehasonlítja a jelenlegivel. Ezt sokszor elvégezve feltérképezi a paraméterterületet a különböző koordináta irányokba. Mindegyik abba az irányba halad tovább, amerre az értékek csökkennek, tehát az optimum irányába. (Azért, hogy a program ne „ragadhasson be”, és álljon meg egy lokális minimum helynél, időnként a program megvizsgál egy-egy a jelenlegitől távolabb eső pontot is. Ha azon a területen kisebb értéket talál, a keresési mezőt oda helyezi, és ott folytatja a részletes keresést.) A „hűtés sebessége” azt adja meg, hogy a jelenlegi ponttól milyen távolságban vizsgálja a program a következő pont értékét. Ez fokozatosan csökken a program futása során, így az optimumhoz közeledve a jelenlegihez egyre közelebb eső pontokat fog megvizsgálni a program, míg el nem éri az optimumot.

A szimulációs programot használva nem áll rendelkezésre egy konkrét függvény, ezért függvényként a szimulációs program különböző paraméter értékekkel történő futtatásaiból kapott pontokat adjuk meg az optimalizációhoz. Ennek a függvénynek a létrehozására csinálnunk kell egy Matlab függvényt [12]. (Példaként a cél legyen a 40

km/h elérése a legrövidebb idő alatt, a változó paraméter pedig az i12 láncáttétel.)

A függvény lefuttatja a szimulációt a paraméterterületen kapott  $i_g$  (=i12) áttétel értékkel és visszaadja a 40 km/h sebességérték eléréséhez szükséges időt. Majd az optimalizációs program ezeket az időket hasonlítja össze, keresi a legkisebbet.

Az optimális áttétel értékét kb. 1500 iteráció után találja meg a program, ezt az jelenti, hogy ehhez a szimulációs programot is közben 1500-szor futtatja le különböző áttétel értékekkel. Ha a futtatást leállítjuk, a program kiírja az addigi legjobb időt, és a hozzá tartozó áttételértékét a Matlab Command Window-ba.



```
Command Window
>> GENERAL_model_optimal_attetel
Stop requested.
Iterációk száma : 74
Optimális áttétel : 4.031077e+00
Legjobb függvényérték (legrövidebb idő) : 4.6439
fx >>
```

2. ábra. A futtatás megszakítása után kapott eredmények

Ezt az eljárást használhatjuk több változó paraméter esetén is, különböző versenycélokhoz történő optimalizálásra (pl. gyorsulásiversenyhez, vagy áramfogyasztási versenyhez).

Az optimalizációról részletes leírás a [12] hivatkozásban található.

### 3. Összegzés

Az optimalizáláshoz először a szimulációs programot kellett átalakítani, a jobb áttekinthetőség, és felhasználhatóság érdekében. Majd a megfelelő optimalizálási eljárás kiválasztása után különböző Matlab programokat írtunk az adott optimalizálási problémákra, majd ezt felhasználva a versenyautónkra meghatároztuk az ideális műszaki adatokat különböző versenycélok esetén. Az eljárás sikeresen működik, a programot fel tudjuk használni az újabb

versenyautóink tervezéséhez is. A szimulációs programnak viszont vannak még kisebb hiányosságai. Ezek közül egyik az, hogy nem tudunk valós idejű szimulációt elvégezni. A későbbiekben tervezünk egy valós idejű szimulációs programot létrehozni az egész jármű modellre.

Tervezzük még a szimulációs programot egy grafikus felülettel ellátni, amelyen látható lenne az adott versenypálya, a jármű aktuális pozíciója a pályán, és az aktuális menetdinamikai értékek. Így az autót végig tudjuk vezetni egy adott versenypályán, közben elemezni az adatokat, ezeket összehasonlítani a telemetriai adatokkal. Ezáltal a jármű műszaki adatai optimalizálhatók lennének az egész versenypályára.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Zöldy Máté, Dr. Emőd István, Tölgyesi Zoltán: *Alternatív járműhajtások* – Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft. (2006) ISBN 9639005738
- [2] Juhász György: *A pneumobil versenyek és az oktatás - a felkészülés tanári szemmel*, Debreceni műszaki közlemények. - 10 : 1 ISSN: 1587-9801, 2011, 35–40.
- [3] Gábora András, Sziki Gusztáv Áron, Szántó Attila, Varga Tamás Antal, Magyarai Attila, Balázs Dávid: *Prototype battery electric car development for Shell-ECO-Marathon® competition*. Proceedings of the XXII International Conference of Young Engineers, Kolozsvár 2017, 167–170.
- [4] Shell-ECO-Marathon® verseny In: <http://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon.html> letöltve: 2017. 11. 20.
- [5] Aventics pneumobil verseny In: <http://www.pneumobil.hu/letoltve>: 2017. 11. 20.
- [6] Matlab 2014b, The MathWorks, Inc, Natick, Massachusetts, United States.
- [7] Szántó Attila: *Elektromos hajtású tanszéki versenyautó járműdinamikai modellezése*, TDK dolgozat (2015), Debreceni Egyetem Műszaki Kar.
- [8] Hans B. Pacejka, Igo Besselink: *Tire and Vehicle Dynamics* (Third edition) – Published by Elsevier Ltd. (2012) ISBN 978-0-08-097016-5.
- [9] Jörsen Reimpell, Jürgen W. Betzler, Bári Gergő, Hankovszki Zoltán, Kádár Lehel, Lévai Zoltán, Nagyszokolyai Iván: *Gépjárműfutóművek I.* (2012) ISBN 978-963-279-606-2
- [10] Bernd Heissing, Metin Ersoy: *Chassis Handbook* (2011) ISBN 978-3-8348-0994-0
- [11] Szántó Attila: *Járműdinamikai szimuláció és optimalizáció Matlab és LabVIEW környezetben*, TDK dolgozat (2017), Debreceni Egyetem Műszaki Kar
- [12] Erdősné Sélley Csilla, Gyurecz György, Janik József, Körtélyesi Gábor: *Mérnöki optimalizáció*, 2012, Typotex kiadó, ISBN 978-963-279-538-6



„Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült”