

# Járművek menetdinamikai szimulációja Matlab/Simulink környezetben Vehicle dynamics simulation in Matlab/Simulink environment

A. SZÁNTÓ<sup>1</sup>, S. HAJDU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Debrecen, andras.szanto.0503@gmail.com

<sup>2</sup>University of Debrecen, hajdusandor@eng.unideb.hu

*Absztrakt. A következőkben járművek menetdinamikai szimulációjának a lehetőségeivel foglalkozunk. Az egyszerű kétkerék-modelltől kezdve, a valós futóművel rendelkező jármű tetszőleges útfelület mentén történő mozgásának a szimulációját mutatjuk be. A MATLAB, Simulink, valamint a Simscape nagyon jól használható eszközöket biztosít az előbb említett célok eléréséhez. Az így kapott járműmodell gyakorlati felhasználásának a hasznába is betekintést nyerünk, hiszen a szimuláció során ismert adatok birtokában gyakorlatilag bármilyen szabályozó algoritmus szimulációjára lehetőségünk van: a cikkben egy egyszerű ABS szabályozás kerül bemutatásra.*

*Abstract. In the following we are researching different methods of vehicle dynamics simulations. Starting from a simple two-wheeled vehicle model, we are showing ways to simulate the movement of vehicles with real suspensions on any surfaces. MATLAB, Simulink and Simscape provide very suitable resources for the above mentioned purposes. The benefits of such vehicle model become obvious because of the fact during the physics simulation we can access all the data we need to simulate any control algorithms for vehicles: in this article we are presenting a simple ABS control simulation.*

## Bevezetés

Az első kitűzött cél az volt, hogy valamilyen mechanikai modell, valamint kerékmodellek segítségével megteremtjük annak a lehetőségét, hogy a kerekekre ható nyomatok időbeni megadásával bármilyen gyorsítási, vagy fékezési manővert szimulálhassunk: az ABS szabályozás vizsgálatát tűztük ki célul először. Ehhez egy fiktív ABS algoritmust alkalmaztunk. Abszolút helye van az algoritmus valós, reális szimulációjának, ahol a ténylegesen létező szenzorokat, a mérési hibákat is szimuláljuk, viszont arra jutottunk, hogy első lépésben egy sokkal pontosabb jármű-modellre van szükség, esetleg a felületi egyenetlenségek figyelembevételére is.

Simscape-ben - amely Simulink-en belül lévő library - lehetőség van különböző merev testek joint-okkal történő összekapcsolására: így egyértelmű volt, hogy segítséget nyújthat a megfogalmazott célok eléréséhez. Hamar kiderült, hogy a fő kérdés nem a futómű-mechanizmusok létrehozása, hanem a

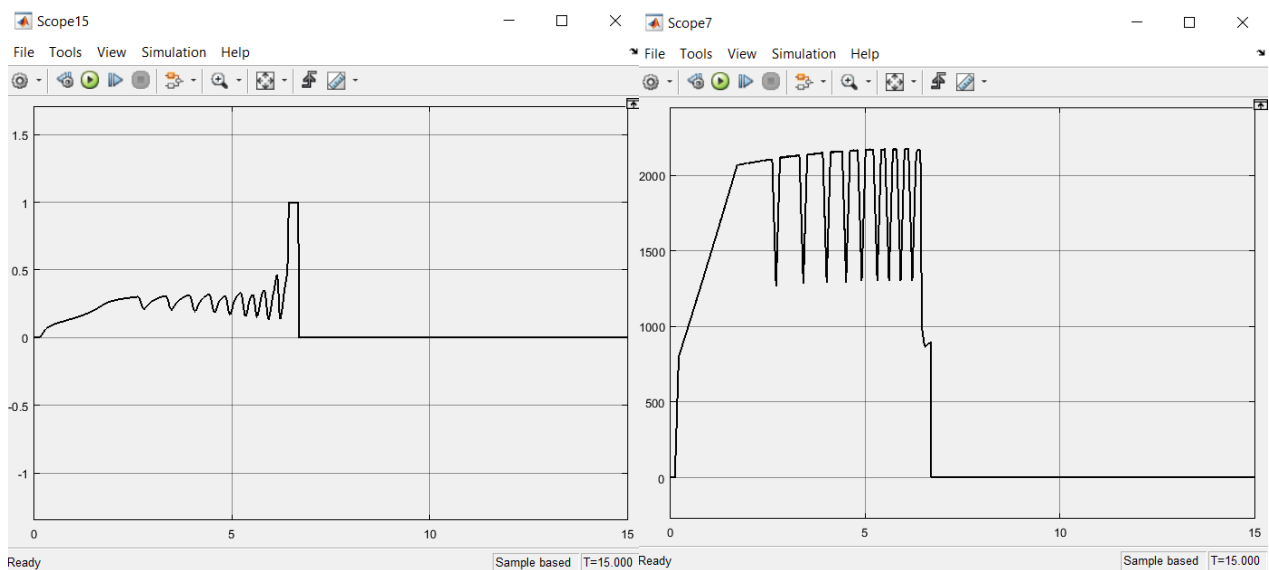
kontakt-pontok megadása lesz. Tetszőleges útfelületen történő elmozdulás esetén még inkább belátható, hogy a kontakt-pont meghatározása kulcskérdés.

## 1. Kétkerék-modell Simulink-ben

Ahogy a nevében is benne van, ebben a modellben a járművet egy egy nyomvonalon futó merev testtel helyettesítjük. Ennek a testnek egy szabadsági foka van: a hosszirányban történő elmozdulás. Mivel a kerekek talajon lévő érintkezési pontjait ismerjük, a mechanika alapegyenleteit felírva - a szabadsági fokokat figyelembevéve - megoldhatjuk az egyenletrendszer. A súrlódási együttható - ezzel a kontakt-pontban lévő erő iránya - ismert az adott lépésekben, hiszen bármilyen kerékmodell alkalmazása esetén a súrlódási együttható a szliptól, a szlip pedig a pillanatnyi kerék, valamint jármű-sebességtől függ [1].

Az ABS algoritmus a bevezetőben említett fiktív algoritmus; a féknyomás vezérlő egységnél a nyomás-kiépülés csak jellegében helyes [2], ténylegesen létező egység vizsgálatára és modellezésére most nem volt lehetőség.

A modellnek nincs forgási szabadsági foka, teljesen merev vázas járműnek fogható fel. További hátrány még, hogy ez a modell csak teljesen sík elmozdulást tesz lehetővé. Ezeket leszámítva, a kétkerék-modell számos célra alkalmas, az egyszerűsége miatt viszonylag széleskörűen alkalmazzák.



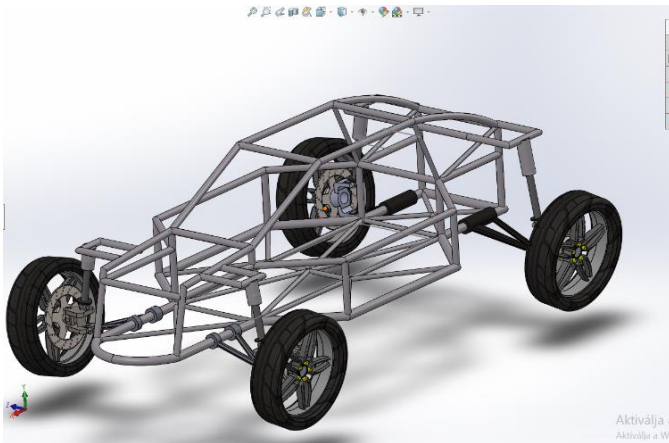
1. ábra: Szlip az első keréknél

2. ábra: Féknyomaték az első keréknél

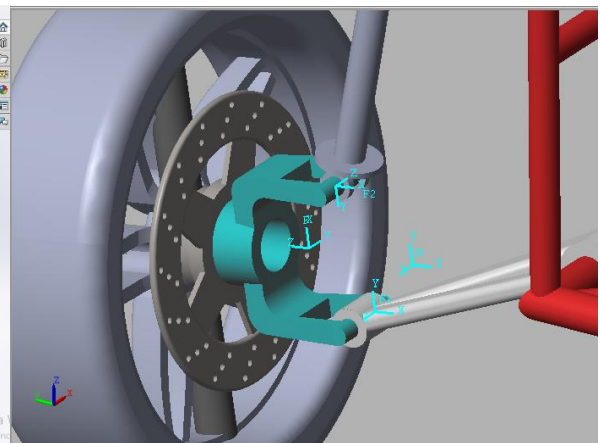
## 2. Simscape-es jármű-modell

A Simscape-ben lévő Simscape Multibody gyakorlatilag egy physics engine. A joint-ok képesek két test között lévő szabadsági fokok korlátozására (mechanizmusok felépítésére), bármilyen erőket, nyomatékokat felvihetünk az adott testekre, ismerjük a joint-okban fellépő kényszererőket, meg még számos, a fizikához nagyon jól használható eszközzel rendelkeznek. Mivel 3D-s tervező szoftverekből lehet összeállításokat importálni (ehhez egy GrabCAD-ről származó modellt használtam [3]), ezért a futómű modelljét egyszerűen létrehozhatjuk. Mivel Simulink-es eszközöket, valamint MATLAB-funkciókat is használhatunk, ezért a valós futómű-paraméterek megadása sem okozhat nehézséget (nem lineáris rugó, más csillapítás ki-és berugózás esetén, stb).

Ahogy már említettük, az érintkezési pont megadása a nagyobb kérdés. Tény, hogy jointok-kal elő lehet állítani olyan kinematikai kényszert, amellyel modellezhetjük a kerekek által megvalósított érintkezést egy síkkal. Első ránézésre nincs is más lehetőség, hiszen az alap Simscape nem tartalmaz kontaktokat: a Contact Forces Library-t [4] használtam ilyen célokra.



3. ábra: Az importált összeállítás

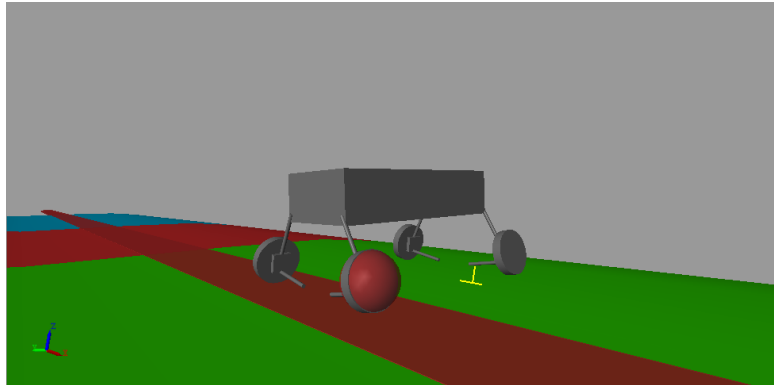


4. ábra: A tengelycsonk csatlakozásai

A kontaktok és kinematikai kényszerek közötti különbségről. A kinematikai kényszerek a joint-okkal létrehozott kapcsolatot jelentik a különböző merev testek között. A megoldó igyekszik ezeket a kényszereket tökéletesen kielégíteni, nyilván minél több joint van, annál nehezebb lesz ezen egyenletrendszerek kielégítése. A kontakt ezzel szemben annak a vizsgálatát jelenti, hogy két test, vagy jobb megnevezéssel collider érintkezik-e. Pl. ha a jármű kereke érintkezik a talajjal (jó közelítéssel egy sphere-plane kontakt), az nem egy plusz tagot jelent a mechanizmusban (tehát nem lesz bonyolultabb az egyenletrendszer), hanem csak egy plusz erő, a kontaktnál lévő erő kerül alkalmazásra. Általában egy nagyon erős rugót, valamint csillapítást alkalmazunk a kontaktok esetén. Ebből következik, hogy a kontakt nem biztosít akkora pontosságot, mint a kinematikai kényszer, hiszen létrejön a penetráció, az ütközés a két test között. Emiatt collider-eknek is nevezik az ilyen elven működő fizikai eszközöket.

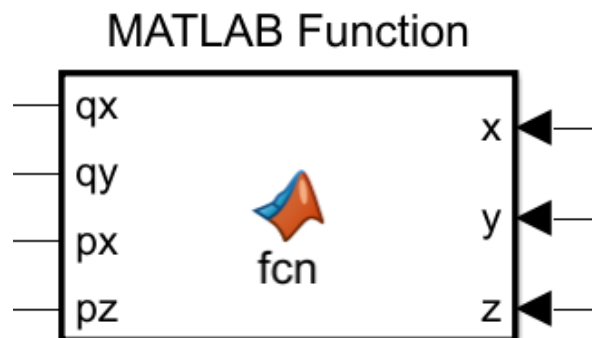
A kétkerék-modellnél az előző fejezetben bemutatott számítás például egy kinematikai kényszer: egy haladási szabadsági fokú prismatic joint. A mechanikai egyenletrendszer konkrét megoldása nélkül,

kontaktokkal is le lehet írni ennek a modellnek a mozgását. Ez úgy nézne ki, hogy a testnek a 2D-s térben mindhárom szabadsági fokát meghagyjuk. A kerekeket egy-egy körrel modellezzük, és az előbb ismertetett collision-vizsgálattal erős rugókat és csillapításokat alkalmazunk. Tehát gyakorlatilag nem megoldjuk, hanem leszimuláljuk a mechanikai egyenletrendszert. Ennek az elvnek ott van óriási haszna, ahol így nagy mértékben egyszerűsíthetjük az egyenletrendszert. Alapvetően ez az elv sokkal kisebb lépéseket követel meg, hiszen erős rugókról és csillapításokról van szó, ennek hatására kis bemélyedésekről, ezért csak kis lépésekkel dolgozhatunk. Viszont a Simscape-es modell esetén a sokkal egyszerűbb kinematikai kényszerek hatására olyan mértékben lesz gyorsabb egy adott lépés kiszámítása, hogy még a kisebb lépésekkel is sokkal gyorsabb lesz a szimuláció.



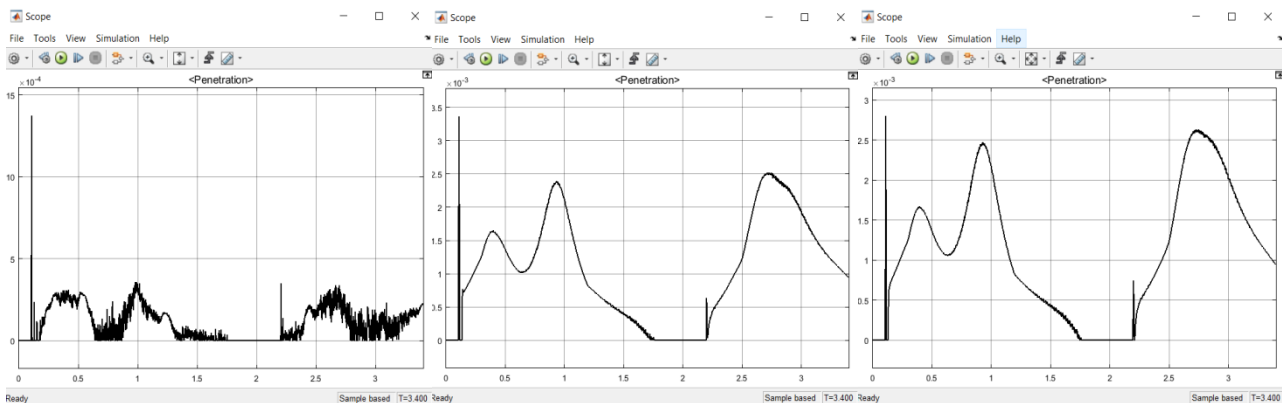
5. ábra: A tetszőleges felület működési elv a JH keréknél lévő contact-nál

Valamint ezzel az elvvel a tetszőleges útfelületek megadására is lehetőség van, hiszen azt a kis síkdarabot, amelynél éppen megvalósul a kontakt, a felületnek megfelelő helyzetbe és pozícióba transzformálhatjuk, ezzel megoldottuk a tetszőleges útfelületek megadását.



6. ábra: Matlab-funkció a tetszőleges felülethez

A következő ábrákon az látható, hogy a kontaktoknál lévő rugó-és csillapítóerőket helyesen kell megválasztani, hogy a grafikonok minél simábbak legyenek. Továbbá látható a fixed step, és a variable step közötti különbség. Érthető az, hogy a fixed step esetén miért van kisebb penetráció: a fixed step miatt ritkább a mintavételezés a csillapításhoz, ezért összességében olyan, mintha erősebb lenne a csillapítás. A variable-step viszont elvégzi a feladatát, kisebb lépésekkel pontosan kiszámolja a csillapítást. Viszont felvetődik a kérdés, hogy ez a penetráció valóban olyan fontos adat-e, hogy megérje a variable-step kb. 5-ször akkora szimulációs ideje. Az itt bemutatott fixed-step megoldó egyébként 1/1000-es lépésekkel dolgozik. A grafikonokon a nulla penetráció a kerék felemelkedését jelenti.



7. ábra: Fixed-step erősebb rugókkal

8. ábra: Fixed-step gyengébb rugókkal

9. ábra: Variable-step gyengébb rugókkal

## Összefoglalás, kitekintés

A jövőben tervezzük a Simscape-es modellhez történő, most már keresztirányú erőket is figyelembe vevő kerékmodell hozzáillesztését. Az így kapott modellel már tényleg van értelme a szabályozó algoritmusok reális szimulációjának. Illetve a jármű paraméterei is sok helyen pontosabb meghatározást igényelnek, például a kontakt-pontnál lévő rugó-és csillapítás nem tetszőleges adat, hanem az abroncstól függ, ezért az ide tartozó végeselemes vizsgálatokban is lehet ráció [5]. A hajtáslánc modellezésével a jármű gyorsítási optimalizálását is reálisabb körülmények között modellezhetjük.

## Hivatkozások

- [1] Enisz K: *Gumiabroncs és útfelület közötti súrlódási együttható on-line becslési módszereinek vizsgálata*
- [2] [http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/futomu\\_rendszerek\\_mechatronikaja/ch10.html](http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/futomu_rendszerek_mechatronikaja/ch10.html)
- [3] <https://grabcad.com/library/car-chassis-10>
- [4] [https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47417-simscape-multibody-contact-forceslibrary?](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47417-simscape-multibody-contact-forceslibrary?open=1)

[5] [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0042\\_gepjarmu\\_iranyitas/ch04s04.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0042_gepjarmu_iranyitas/ch04s04.html)