

## AUTÓ FUTÓMŰ VÉGESELEM VIZSGÁLATA

**Bódi Máté**

BSc hallgató, Miskolci Egyetem

3515 Miskolc, Miskolc- Egyetemváros, email: [bodi.mate315@gmail.com](mailto:bodi.mate315@gmail.com)

**Szabó J. Ferenc**

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet

3515 Miskolc, Miskolc- Egyetemváros, email: [machszf@uni-miskolc.hu](mailto:machszf@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

Az európai szakirodalom leggyakrabban a futómű, mint önálló járműrendszer alatt a komplett kerékből, a kerékfelfüggesztésből, a rugózásból és csillapításból álló alkatrészcsoportot érti. Manapság szinte nincs is olyan szárazföldön közlekedő jármű, melynek ne lenne valamilyen típusú futóműve, legyen az személygépkocsi, busz, kamion, vonat, vagy akár egy harckocsi. Az utóbbi évtizedek egyik leglátványosabban terjedő, nagy hatékonyságú számítástechnikai módszere az ún. végeelem módszer. A gépészetben belül egyik legnagyobb felhasználója az autóiipar. A gyártók akár a kocsiszekrény merevségét, a hűtőrendszer hatékonyságát, a beszívott és kipufogott gázok áramlását, a motorban, futóműben ébredő terhelések, feszültségek nagyságát is vizsgálni, szimulálni tudják. Ezek a szimulációk ma már olyan pontosak, hogy a korábban évekig tartó tesztelési folyamat jelentős mértékben rövidíthető. Jelen munka során egy alsó- közép kategóriás személygépkocsi jobb mellső futóművét modelleztük. A modell segítségével a kátyúba hajtás esetén adódó erőhatásokat, deformációkat, feszültségeket és gyorsulásokat vizsgáltuk.

**Kulcsszavak:** VEM, végeelemes vizsgálat, futómű, McPherson

### **Abstract**

European literature most often refers to a set of parts consisting of a complete wheel, spring, damping element and suspension under a chassis as a separate vehicle system. Nowadays, there is almost no land-based vehicle without a type of chassis, whether it is a car, a bus, a truck, a train or even a tank. One of the most spectacular, high-performance computing methods of the last decades is the so-called "technology", finite element method. The automotive industry is one of the largest users of the finite elements in the field of mechanical engineering. Manufacturers can test and simulate the rigidity of the mower, the efficiency of the cooling system, the flow of the intake and exhaust gases, the loads awakened in the engine, the chassis, and the magnitude of the stresses. These simulations are now so accurate that the testing process that has lasted for years has been greatly reduced. The right front axle of a lower mid-range car was modelled and the forces, deformations, tensions and accelerations resulting by potholes were tested.

**Keywords:** FEM, suspension, finite element method, McPherson

## 1. Elméleti háttér

### 1.1. Kátyúba hajtás

Kátyúba hajtás esetén többféle eset fordulhat elő. Azt, hogy melyik eset lép fel a valós helyzetben, a kerék átmérője és a kátyú kialakítása, méretei döntik el. Az első lehetséges esetben az addig vízszintesen az út felületén mozgó kerék vízszintes hajításnak megfelelő mozgást végez, majd az úthiba aljához érve egy merev felületnek ütközik. (Például a kátyú alján az útburkolat törmeléke van, amit az azon áthajtó autók betömörítettek). Ebben az esetben az összes kinetikus energia, a gumin illetve a futómű alkatrészein deformációs energiává alakul. Ilyenkor a komplett futóművet egytömögű rendszerként kezelhetjük, és a végeelem programban egy egységnyi erőt alkalmazva meghatározható annak  $c$  rugóállandója. A kerék  $h$  távolságból esik, ezért mikor az a merev felületre érkezik, abban a pillanatban a rendszer kinetikus energiája az (1) képlettel számolható, melyben  $m$  a rendszer tömege,  $g$  a gravitációs gyorsulás.

$$E = mgh \quad (1)$$

Ez a kinetikus energia alakul át deformációs energiává (esetünkben rugó munka):

$$W = 0.5cu^2 \quad (2)$$

A képletben az  $u$  a rugó deformációja, tehát kiszámolható az  $E = W$  feltételezés alkalmazásával:

$$u = \sqrt{\frac{2mgh}{c}} \quad (3)$$

Ezt az alakváltozást kiszámolva peremfeltételként alkalmazva a komplett futómű modelljére, az ennek megfelelő feszültségek a végeelem programmal számolhatók.

Olyan eset is fennállhat, hogy a kátyú hosszából, illetve az autó sebességéből adódóan a kerék nem is éri el az úthiba alját, hanem a peremnek ütközik. Ekkor vizsgálni kell a kerék által megtett távolságot, illetve az ütközés helyét a keréken. A gumi érintkezési pontján normálirányban berajzolható vektor, valamint a jármű haladási sebességének vektora  $\alpha$  szöget zár be. Az ütközés következtében fellépő sebesség változást pedig  $\Delta v$  jelöli. Az eredeti pozícióját a kerék csak úgy tudja elfoglalni, ha az eredeti  $v$  sebesség helyett  $v + \Delta v$  sebességgel halad. Ez alapján kiszámítható egy egyenértékű hajítási magasság, ami ugyanolyan becsapódási erőt eredményezne, mint a sebességváltozáshoz szükséges erő. Ezután a számítás már folytatható az (1-3) képletekkel, csak  $h$  helyett  $h + \Delta h$  használandó.

$$\Delta v = v \cos \alpha, \quad \Delta h = \frac{\Delta v^2}{2g} \quad (4)$$

## 1.2. Visszatérés a gödör aljáról az eredeti szintre

Ebben az esetben azt feltételezzük, hogy a kátyú felülete íves, tehát a kerék horizontális irányban  $\Delta s$  távolságot tesz meg, az autó  $v$  sebességével, amíg az fel nem ér a kátyú falán. Az úthiba mélysége  $h$ , a  $\Delta s$  út megtételéhez szükséges idő pedig  $t$ , ami adott sebességnél számolható:

$$t = \frac{\Delta s}{v} \quad (5)$$

Ez alatt a  $t$  idő alatt vertikális irányban a kerék  $\Delta h$  utat tesz meg, ekkor a függőleges irányú sebessége:

$$\Delta v = \frac{\Delta h}{t} \quad (6)$$

A kerék vertikális sebessége a kátyú alján zérus, tehát az átlagos vertikális gyorsulás számolható:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{\Delta h}{t^2} \quad (7)$$

Az erő ami a kereket mozgatja az út szintjéig, a következőképpen számolható:

$$F = ma \quad (8)$$

Ez az erő az, amit kiszámolva és a végeelem analízisben felhasználva, a program számolni tudja az elmozdulásokat, illetve az ébredő feszültségeket. Az  $m$  tömeg meghatározásakor figyelembe kell venni, hogy a felfüggesztés legalább 10 cm-t tud fel-le irányba elmozdulni. Ha a kátyú nem mélyebb, mint 10 cm akkor az  $m$  tömeg összesen a futómű illetve a kerék tömege, de ha a kátyú ettől mélyebb, akkor egy autó esetében hozzávetőleg az össztömeg negyedével (egyres típusoknál 60 %-ával) kell számolni.

A kátyúból kifelé hajtáskor az erőt szintén a (8) képlettel határozzuk meg, csak a gyorsulás értékénél a függőleges gyorsulást számoljuk, melyhez azt vesszük figyelembe, hogy ha a kijutáshoz szükséges vízszintes távolságot a jármű az eredeti haladási sebességgel  $\Delta t$  idő alatt teszi meg, akkor függőlegesen a kijutáshoz szükséges távolság megtételekor  $a_y$  függőleges gyorsulás fog jelentkezni.

Ha a vertikálisan megtett út:

$$\Delta y = \frac{a_y}{2}, \quad \Delta t^2 = \frac{a_y \Delta x^2}{2 v_x^2} \quad (9)$$

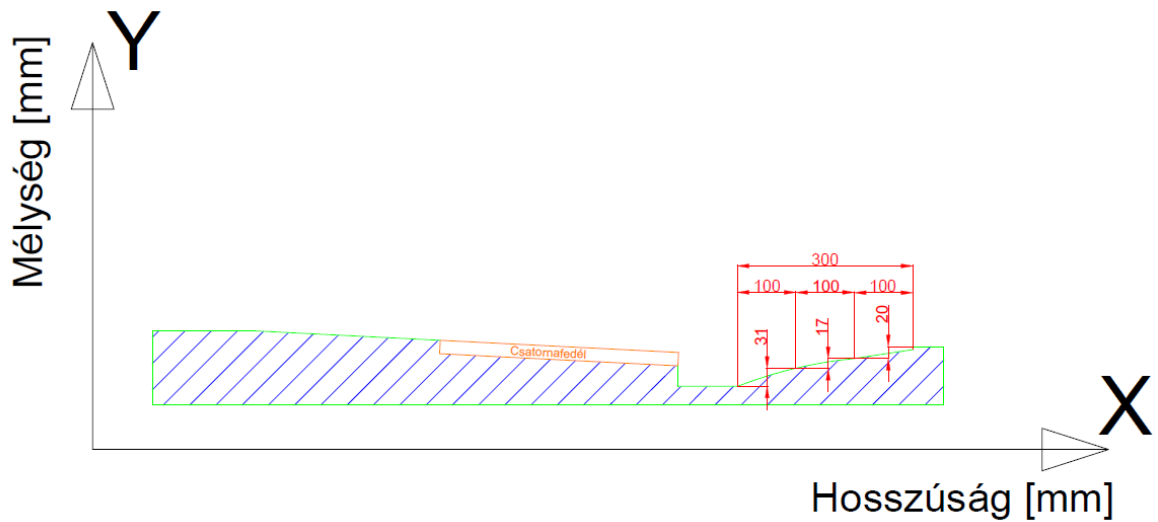
akkor a vertikális irányú gyorsulás:

$$a_y = 2 \Delta y \frac{v_x^2}{\Delta x^2} \quad (10)$$

A vizsgált kátyú vertikális, illetve horizontális méreteit ismerve, illetve meghatározott áthaladási sebességekkel számolva, az előre meghatározott pontokban így kiszámítható, hogy mekkora erő éri a

futóművet. Kátyúból kifelé hajtáskor általában jóval nagyobb terhelés éri a futóművet, mint befelé hajtáskor, ezért az utóbbi levezetés alapján számoljuk a gyorsulásokat, és az erőket [4].

A városi közlekedésben nagyon gyakori úthiba, amikor a csatornafedél körül éles perem alakul ki, amit a városban közlekedő autók, buszok még jobban „kijárnak”. Ez egy kicsit sem veszélytelen úthiba. Az első ábrán egy ilyen úthibát láthatunk. A csatorna fedél befoglaló méretei 1300 x 1300 mm, míg legmélyebb pontja körülbelül 65 mm. A mérés során víz gyülemlt fel az úthibában, amely annyiban megkönnyítette a mérést, hogy könnyebben le lehetett olvasni az adott mélységet.



1. ábra. A lemért csatornafedél, és a megrajzolt keresztmetszete

1. táblázat. Fenti levezetés alapján számolt, gyorsulás és erő adatok különböző sebességekre

v [m/s]	x koord	y koord	a [m/s*s]	m [kg]		F			
5,5	0,1	0,031	187,55	30		5626,50	N		1 [20 km/h]
5,5	0,1	0,017	102,85	30		3085,50	N		
5,5	0,1	0,02	121	30		<b>3630,00</b>	N		
8,3	0,1	0,031	427,118	30		12813,54	N		2 [30 km/h]
8,3	0,1	0,017	234,226	30		7026,78	N		
8,3	0,1	0,02	275,56	30		<b>8266,80</b>	N		
13,8	0,1	0,031	1180,728	30		35421,84	N		3 [50 km/h]
13,8	0,1	0,017	647,496	30		19424,88	N		
13,8	0,1	0,02	761,76	30		<b>22852,80</b>	N		

## 2. Futómű és modellje

### 2.1. Futómű felépítése

A futómű biztosítja a gépjármű és az útestet közötti folyamatos kapcsolatot, irányíthatóvá teszi az autót. Ezért a futómű állapota, beállításának pontossága jelentősen befolyásolja a gépkocsi biztonságos üzemelését és menetkényelmét. A gépjárművek két futóművel, első és hátsó futóművel vannak felszerelve. A futómű elemei közé soroljuk a gépjárművek haladásával, különböző irányba való mozgatásával kapcsolatos, a rugózást, lengéscsillapítást és a stabilitást biztosító egységeket, valamint a kerékmeghajtások szerkezeteit. Esetünkben egy, a modellezési munka és a végeelemes számítások elvégezhetősége miatt kisebb egyszerűsítéseket tartalmazó futómű modellt készítettünk. A vizsgált felfüggesztés egy alsó- középkategóriás Suzuki típusú személygépjármű McPherson típusú jobb első futóműve. A McPherson – típusú futóművek fél évszázada a kis és közepes autók egyik leggyakoribb futóművei. A mai modern autógyártásban is jelen van, új elektromos és hybrid személygépkocsikat is szerelnek ilyen típusú futóművel. A kerék tengelycsukját alul gömbcsuklós hárompontos, keresztirányú felfüggesztés, a tengelycsuk felső részét pedig a teleszkópos lengéscsillapító vezeti meg. A lengéscsillapító akkor tölti be ezt a szerepét, ha a csillapító hengere mereven kapcsolódik a tengelycsukhoz (pl. két csavarral rögzítve vagy besajtolva) és a csillapító rúdját a támcsapágy révén a felépítményhez rögzítik.

Egyszerűsített futómű alkatrészei, és elemcsoportjai:

- Kerék:
  - gumiabroncs,
  - keréktárcsa,
  - kerékpánt,
  - kerékagy,
  - kerékcsavar,
  - kerékcsapágy,
  - féktárcsa,
  - féknyereg, a CAD modellünk nem tartalmazza,
  - fékbetét, a CAD modellünk nem tartalmazza,
  - tengelycsuk.

- Kerékfelfüggesztés:
  - lengőkar,
  - csukló,
  - gumipersely.
  
- Rugózás:
  - rugó,
  - lengéscsillapító,
  - mozgáshatároló rugalmas elem.

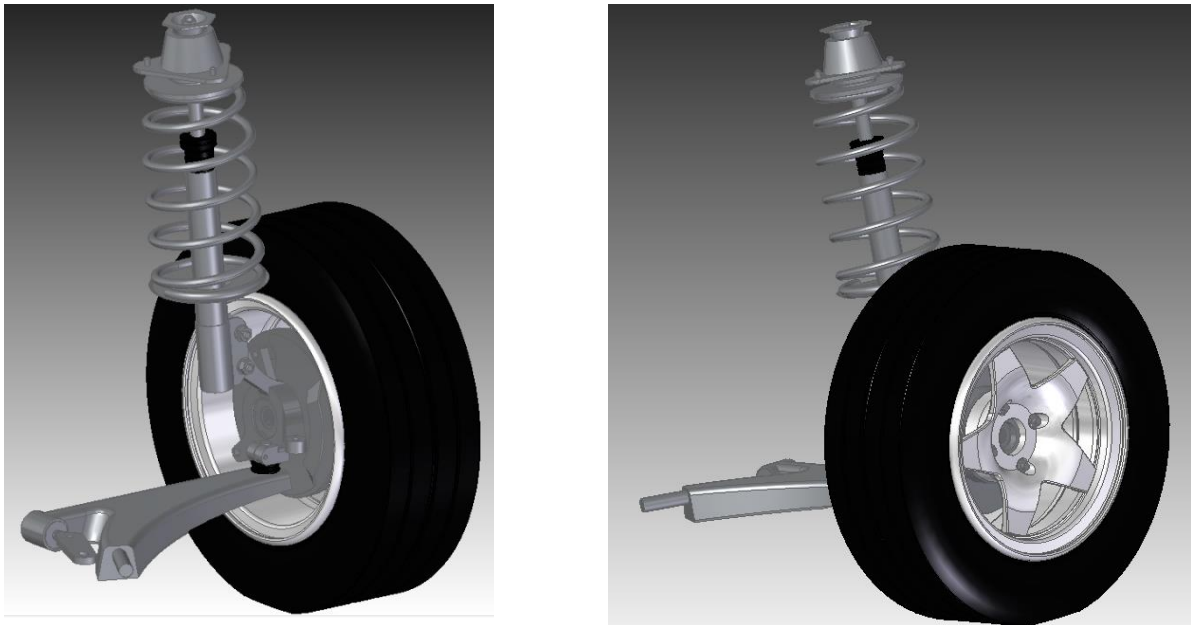


*2. ábra. A futómű, amiről a modell készült*

## 2.2. Futómű modellje

A 3D modellezés egy Suzuki személygépjármű futómű modelljének módosításával és optimalizálásával kezdődött. Az eredeti modell Creo 2.0 nevezetű tervező programban készült, melynek alkatrészeit feltehetően átkonvertálták „par” fájl formátumba. A tervezés, és rajzolás Solid Edge ST9 típusú 3D-s tervező programban történt. Feltehetően a konvertálásból adódóan a program rendkívül furcsán kezelte az alkatrész modelleket. Ez alatt értendő, hogy a henger felületeket, kúp felületeket, két félhenger, illetve két félkúpként kezelte. Ezért az alkatrészek esetleges méret vagy alakú módosíthatósága nem volt megfelelő. A Solid Edge beépített lehetőségei közül a probléma

megoldását szolgálta az optimalizálási funkció. Ezzel a lehetőséggel az alkatrészeket egyenként optimalizálva ez a hiba jelenség megszűnt, viszont az esetleges módosítások így is nehézkesek voltak, több alkatrésznél egyszerűbb volt újra rajzolni a modellt az új paraméterekkel, mint az eredetit módosítani. Probléma volt még a menettel rendelkező alkatrészekkel is, mivel a program a korábban rajzolt menetes alkatrészeknél a menetet külön testként értelmezte. Mivel a végeelem programban túl finom hálózást igényeltek volna a menettel ellátott alkatrészek, így egyszerűsítésre volt szükség, vagyis a menteket a peremfeltételekkel, illetve az alkatrészek közötti érintkezési törvények megfelelő definiálásával helyettesítettük. A kész összeszerelésben több alkatrész is hiányzott a modelltől, ami a valóságban elengedhetetlen lenne. Ezeknek az alkatrészeknek a megrajzolása után a végső összeszerelést kiegészítettük, illetve a valóságnak nem megfelelő alkatrészeket is pontosítottuk. Ilyen volt például a lengőkar végén elhelyezkedő szilentblokk vagy a féktárcsa védő lemez. Az optimalizálás, meglévő alkatrészek módosítása, és a hiányzó alkatrészek megrajzolása után egy teljesen új összeszerelés készült. A gumiabroncs egy egyszerűsített modell, nincsenek modellezve a szálerősítés, a nylon szövetszerkezet, illetve a vizsgálat szempontjából elhanyagolható, futófelület mintázat sem. Az alumínium keréktárcsa régebbiről rendelkezésre álló modelljét jelentős mértékben módosítottuk, a szereléskor jelentkező hibák miatt. Ilyen hiba volt például a kerék agyátmérőjének nem megfelelő mérete, vagy a csavarok osztóköreinek szintén nem megfelelő mérete. Ezek módosítása után, a csavarozási helyeknél az anya kúp alakú felfekvő felületét is modellezni kellett. Végül a felni egy 13 coll átmérőjű, 6 coll széles felnit modellez, melynek 4x100 mm-es osztóköre ( 4 db anyával van rögzítve a felni a futóműhöz, amelyek egy 100 mm átmérőjű furatkörön helyezkednek el), és 68 mm-es az agy átmérője. A rászertelt gumi pedig egy 165/60 R13-as gumi modellje. Ezek a méretek a valóságnak tökéletesen megfelelnek, így a kapott mérési és számolási eredményeket még pontosabbnak tekinthetjük.

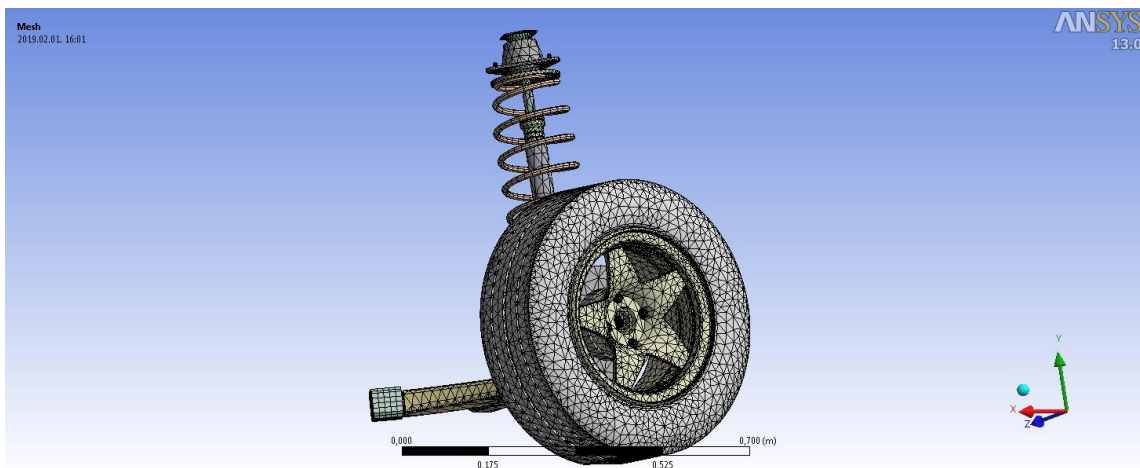


3. ábra. A vizsgálatra kész futómű modellje

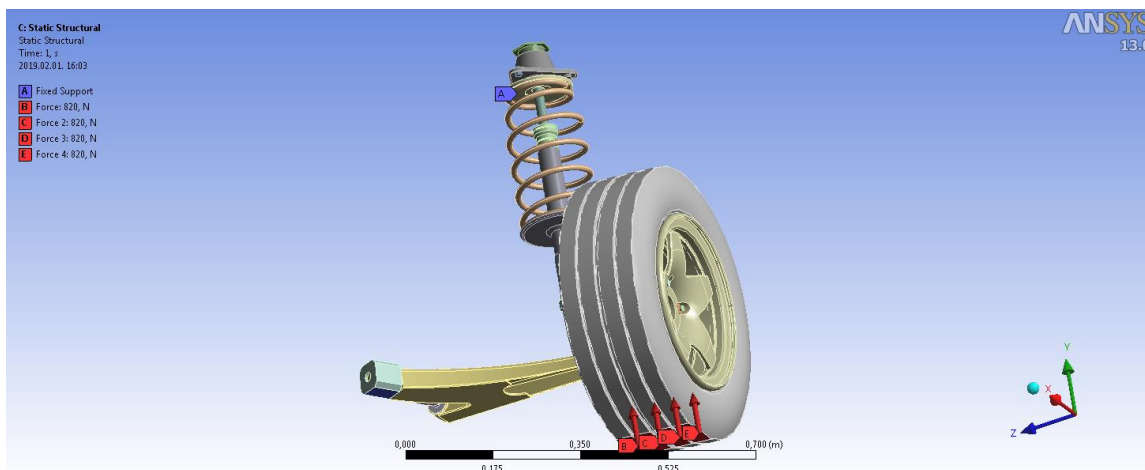
### 3. VEM

A feladatban szereplő futómű vizsgálata az ANSYS 13.0 verziójú végeelemes szoftver volt a segítségünkre. A szimulációk megkezdéséhez első lépésben az elkészített háromdimenziós modellt kellett megnyitnunk a végeelemes szoftverben. Ha sikeresen átkerül a modell, még a szimuláció megkezdése előtt először is egy bizonyos csomópontú hálóval kisebb elemekre kell bontanunk a szóban forgó modellt. Minél részletesebb a háló, annál precízebb és pontosabb eredményeket kapunk a szimuláció során. Ebben a fázisban érdemes a szerkezet azon részeit egyszerűsíteni, amelyek nem befolyásolják a szerkezet terhelhetőségét, ezáltal „spórolni” lehet a csomópontokkal és a szimuláció lefutási idejével is, mivel a tanszéken használt ANSYS licenz csak egy bizonyos csomópontig engedi használni a szoftvert.

A modell, behálózásra került mely eredményes volt, ugyanis 257679 csomópontra és 125877 végeelemre osztotta a modellt az ANSYS.



4. ábra. Az újra behálózott modell

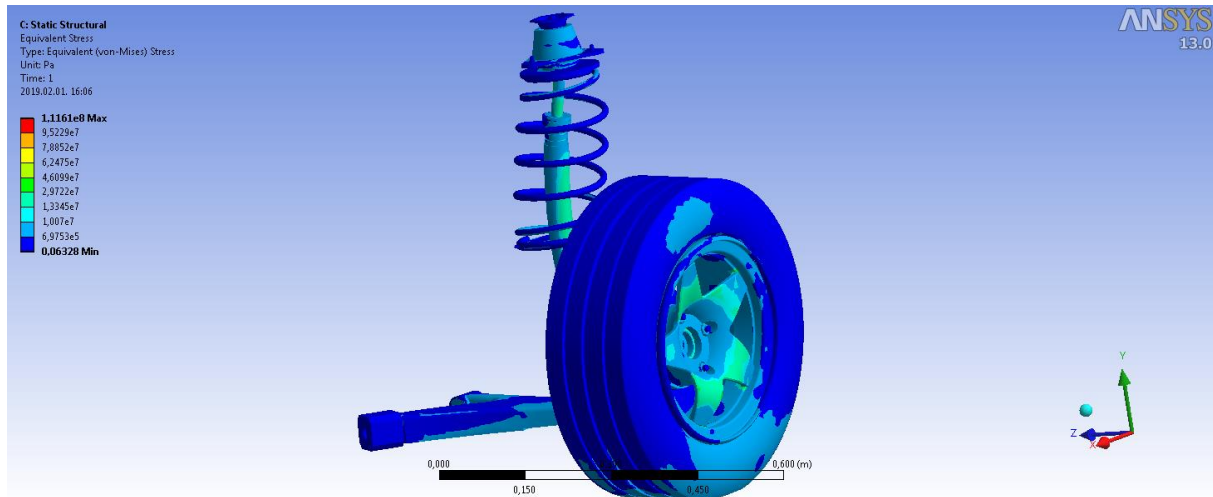


5. ábra. Peremfeltételek a modellen

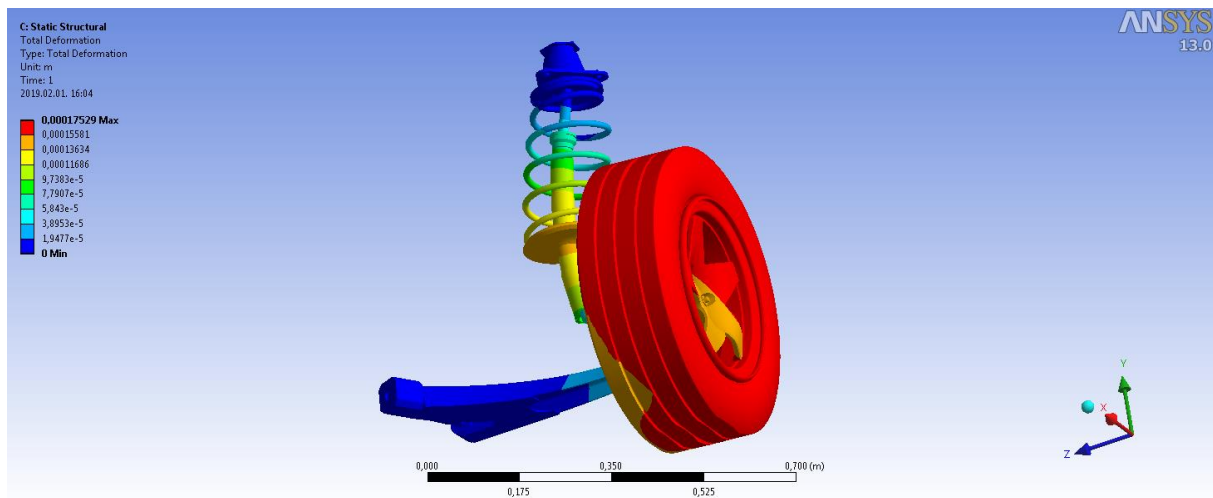


Ezt a mennyiségű adatot már könnyen tudta kezelni a program, így sikeresen elkészült a próbafuttatás a teljesen összeszerelt modellről. Először a fix támaszpontokat definiáltuk, majd a próba erőket helyeztük a modell megfelelő felületeire. 4 db, egyenként 820 N nagyságú erőt helyeztünk el a gumi alsó felületén.

A modellen a deformációkat és a feszültségeket szimuláltuk. A futás után a maximális ébredő feszültség: 112 MPa-ra adódott még a legnagyobb deformáció 0,17 mm lett.



6. ábra. Feszültségek eloszlása a futómű modellen

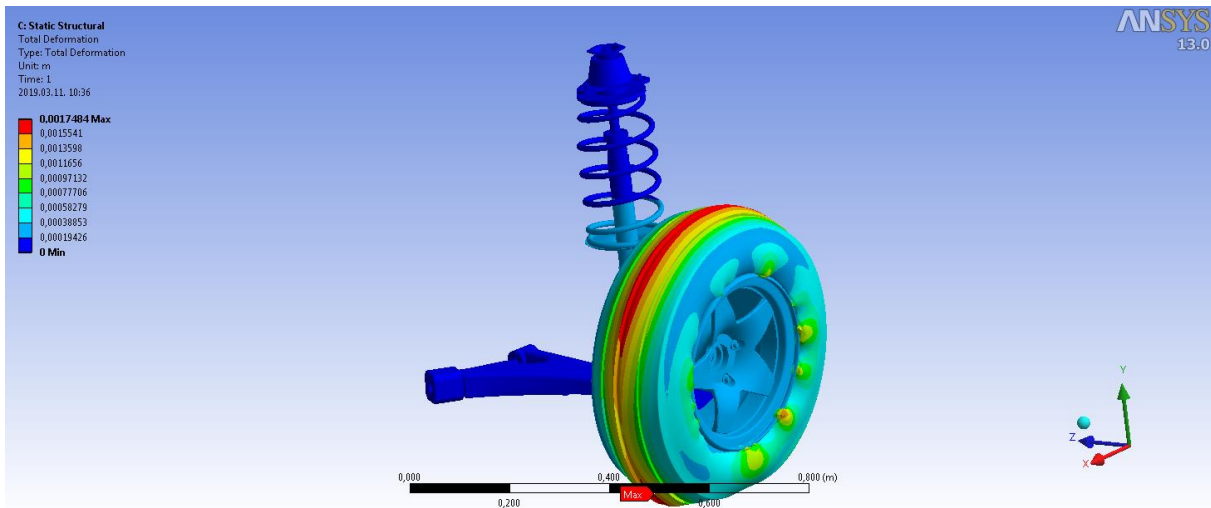


7. ábra. Deformációk eloszlása a modellen

Az első próbafuttatáskor a hálózás minőségét és a végeelemes megoldás idejét, lefutását teszteltük, így még a valóságnak nem 100 %-ban megfelelő peremfeltételeket alkalmaztunk, viszont a szimuláció lefutott és eredmények születtek, ami a próbafuttatás lényege. A peremfeltételeket több helyen pontosítottuk, pótoltuk. Egyik legfontosabb feltétel, amelyet pótolni kellett, a gumi abroncsban lévő 1,8 bar levegőnyomás hiánya, valamint az egyes csukló és csúszó felületek között definiált

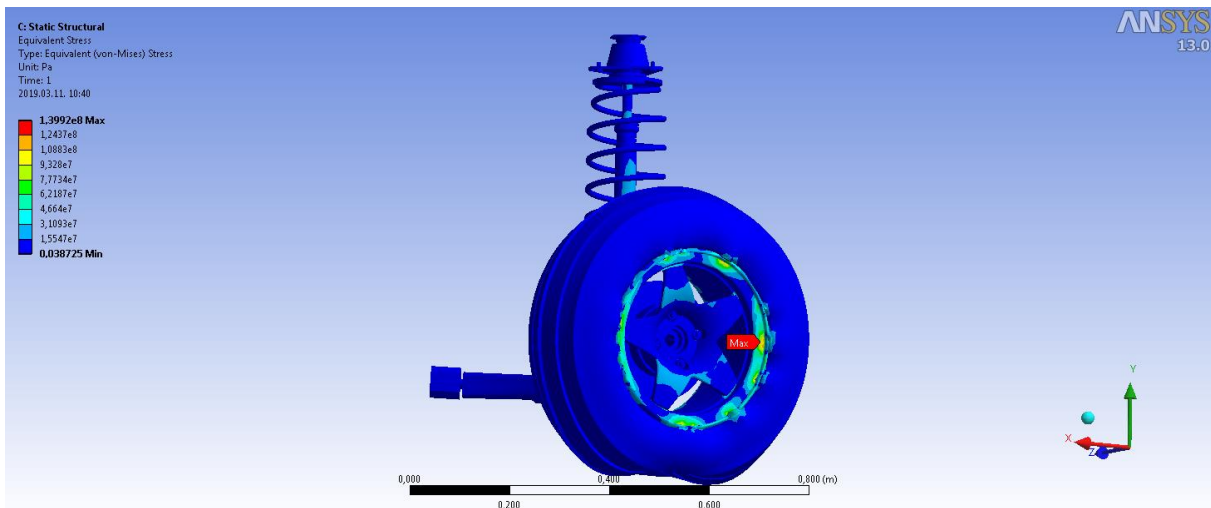
kapcsolat. Ezekből a hiányosságokból származhat a jelenség, mely a képen is jól látszik, a lengéscsillapító szárának kihajlása. A peremfeltételek módosítása után újra próbafuttatást végeztünk.

Az új futtatás eredménye újabb hibát mutatott. Mivel az abroncsunkból hiányoznak a szálerősítések és fém huzalok, így a behelyezett 1,8 bar nyomás az egyszerűsített gumibroncsot „lufiszerűen” felfújta.



8. ábra. A „felfújódott” abroncsunk

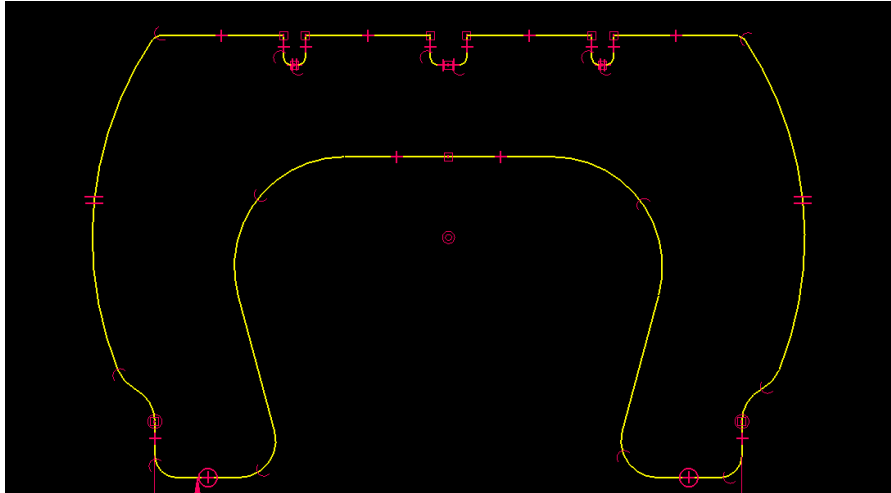
A maximális feszültség a gumi peremén keletkezett, ami szintén a fémhuzal erősítések hiányát igazolja.



9. ábra. A maximális feszültség a futtatás végén

A probléma megoldására az az ötlet született, hogy a gumiban helyezünk el egy 1 mm vastag fém betétet, amely a szálerősítések szerepét helyettesítené. A megoldás nem bizonyult megfelelőnek, mivel

a futtatáskor a végeelemes rendszer hibát közölt. Új trükkre volt szükség a gumi szálerősítésének kiváltására. Ekkor született meg a már korábban említett verzió, amiben a gumi oldalfalát jelentős mértékben megvastagítottuk. Ezzel megpróbálva kiküszöbölni a felfújódást.



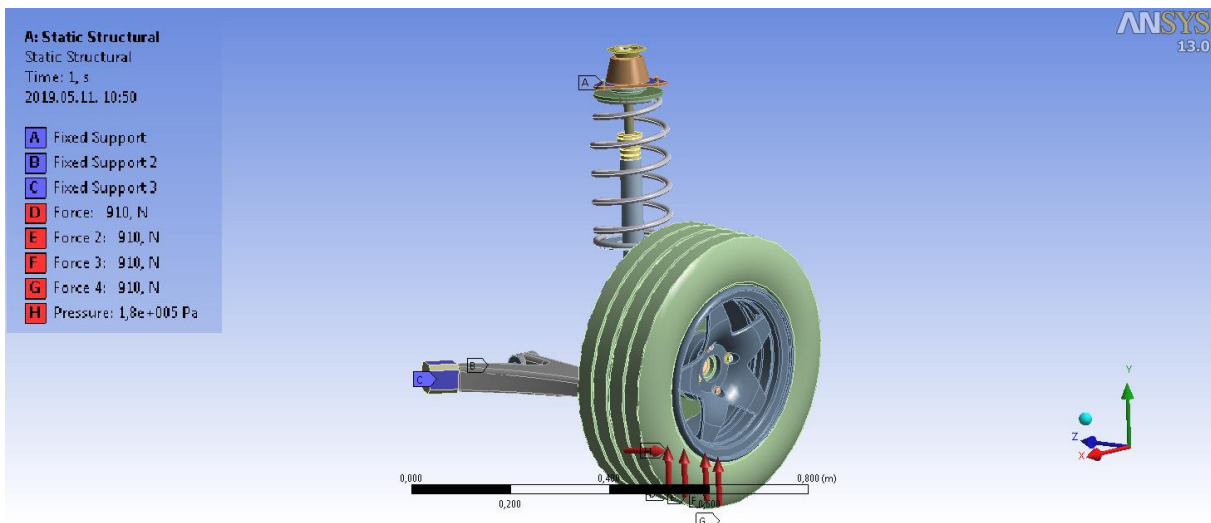
10. ábra. Az új profil a hiba javítására

Az újra futtatás során a hiba megszűnt, egy a valóságnak még mindig nem tökéletesen megfelelő, de az éles futtatáshoz már felhasználható modellt kaptunk. A modellt a korábban csatorna fedél útszerkezethez való csatlakozására kiszámolt erőadatokkal futtattuk.

2. táblázat. A csatorna fedlapra számolt erőadatok

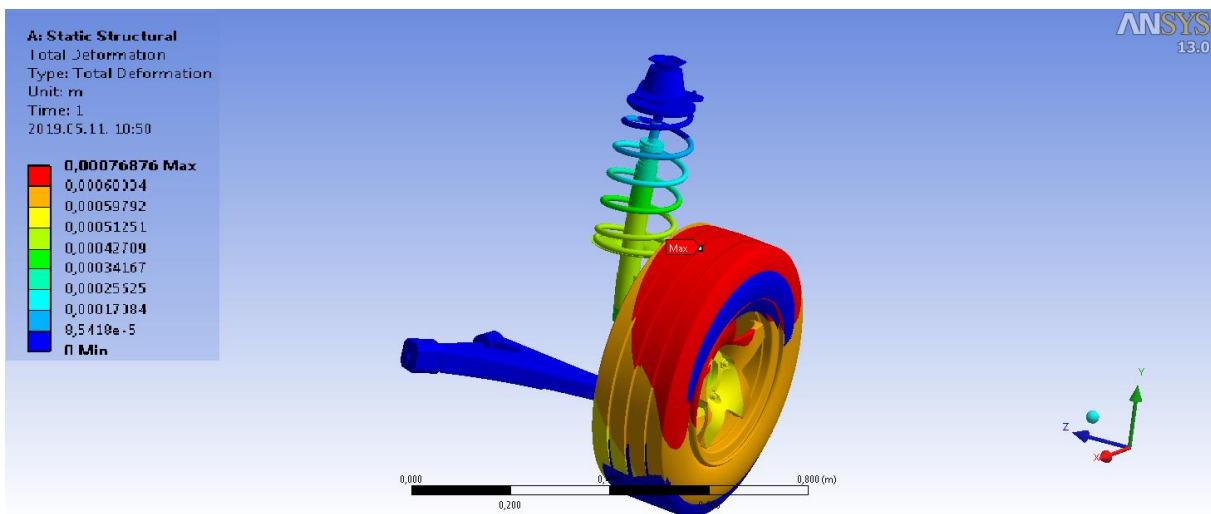
v [m/s]	x koord	y koord	a [m/s*s]	m [kg]		F			
5,5	0,1	0,031	187,55	30		5626,50	N		
5,5	0,1	0,017	102,85	30		3085,50	N		1 [20 km/h]
5,5	0,1	0,02	121	30		3630,00	N		
8,3	0,1	0,031	427,118	30		12813,54	N		
8,3	0,1	0,017	234,226	30		7026,78	N		2 [30 km/h]
8,3	0,1	0,02	275,56	30		8266,80	N		
13,8	0,1	0,031	1180,728	30		35421,84	N		
13,8	0,1	0,017	647,496	30		19424,88	N		3 [50 km/h]
13,8	0,1	0,02	761,76	30		22852,80	N		

A szerkezetre adott terhelő erő az egyes sebességeknél számolt maximális erő volt, vagyis 3630 N, 8266,8 N és 22852,8 N. Ezek egyenként a gumi alsó felületén 4 részre osztódtak. Így 3 futtatást végeztünk, amelyek egyenként közel 1 órát vettek igénybe.



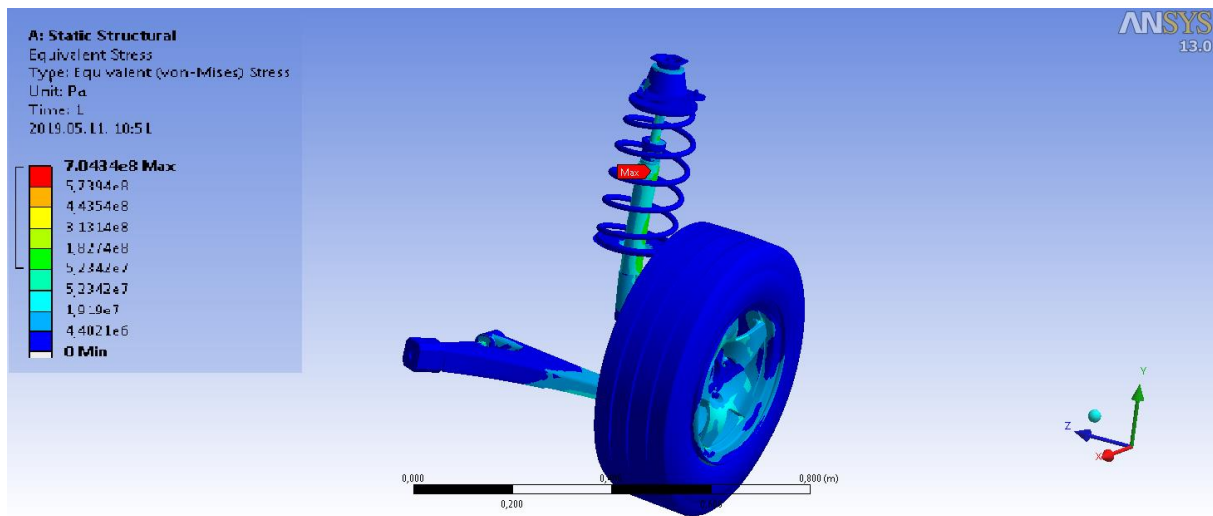
11. ábra. A 3630 N erőadathoz (20 km/h) tartozó peremfeltételek

A futtatás során a legnagyobb deformáció a gumin keletkezett, ami ebben az esetben valóságosnak tekinthető.



12. ábra. A 3630N (20km/h) erőadathoz tartozó deformáció

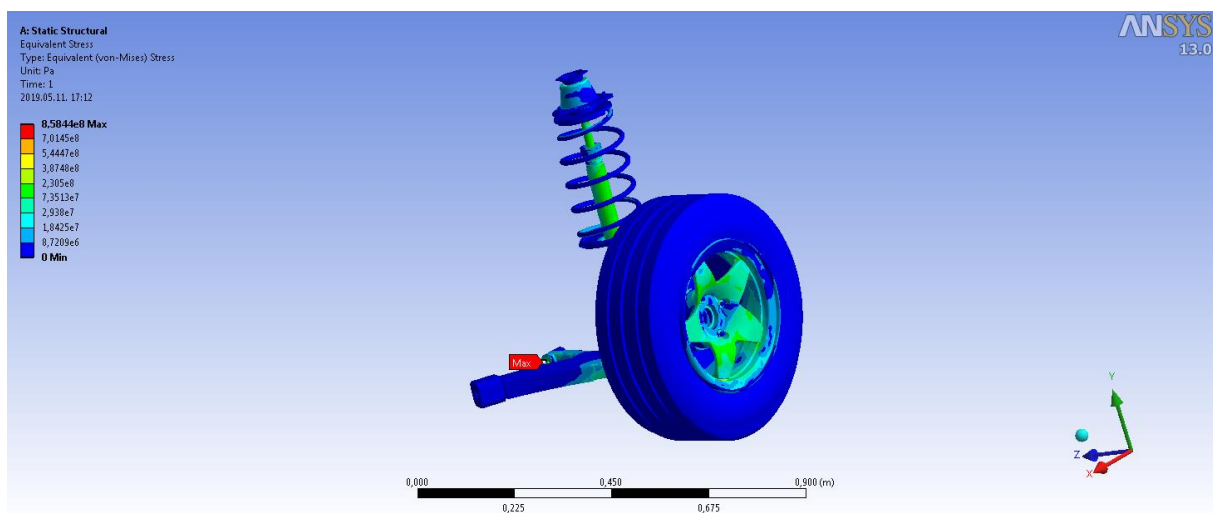
A feszültség 800 MPa-ra adódott, amely a lengéscsillapító dugattyúrúdában ébredt. Ez nem biztos, hogy tökéletesen megfelel a valóságnak, feltételezhető, hogy a kapcsolódó felületek között a peremfeltétel még pontosítandó. Azonban ettől eltekintve a futóműben átlagosan 300 MPa feszültség ébredt, az anyagminőségek függvényében ezt az értéket enyhén veszélyesnek tekinthetjük, vagyis 20 km/h sebességgel áthaladva az úthibán nem keletkezik maradandó sérülés a futóművön.



13. ábra. A 3630 N erőadathoz (20 km/h) tartozó feszültségeloszlás

A további futtatások során csak a megfelelő erőadatokat módosítottuk és így futtattuk a szimulációkat. Mivel minden esetben a lengéscsillapító házában keletkezett a maximális feszültség, így biztosra mondhatjuk, hogy a hiba a peremfeltételek definiálásában keresendő. Ettől eltekintve a 8266 N esetén az átlagos feszültség 400 MPa-ra adódott, amely az enyhén veszélyes kategóriába sorolható. Ez azt jelentheti, hogy az úthibán 30 km/h sebességgel áthaladva feltételezhetően a gumi sérülne meg.

Az 50 km/h sebességgel való áthaladás során is ugyanez az jelenség volt tapasztalható. Itt a futóművön az átlagos feszültség 500 MPa-ra adódott, amely érték a veszélyes kategóriába sorolható. Vagyis ennél a sebességnél az áthaladás során a felni is sérülne. Ezen feszültség érték fölött pedig a tönkremenetelt feltételezzük, vagyis a futómű egyes alkatrészei is sérülnek.



14. ábra. A 22852 N erőadathoz (50 km/h) tartozó feszültségeloszlás

A vizsgálatok a jövőben folytatódni fognak, a jelenlegi kisebb hibák pontosításával, a végeelemes modell valósághoz jobban közelítő továbbfejlesztésével, valamint más autótípusok felfüggesztésének modellezésével.

#### **4. Köszönetnyilvánítás**

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

#### **Felhasznált irodalom**

- [1] Kamarán, K.: Jellemző burkolati hibák fajtái, kialakulásuk okai, (Burkolat, útkörnyezet kezelése I. ), A tartalomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-013-30
- [2] Sarka, F., Bihari, J.: Human-Electric hybrid drives in medium-sized cities by daily traffic, Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2018, 49, pp.59-66. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75677-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75677-6_5)
- [3] Kádár, L., Varga F., Kőfalusi P., Közúti Járműrendszerek szerkezetana
- [4] Szabó, F. J.: Finite Element Investigation of tyre loads of cars caused by pot-holes, Advanced Engineering 5 (2010) 1, ISSN 1846-5900
- [5] Páczelt, I., Szabó, T., Baksa, A.: A végeelem módszer alapjai, online jegyzet (<http://www.mech.uni-miskolc.hu/~paczelt/notes/VEM-ME-jegyzet.pdf>)
- [6] Varga, B.: Autó futómű útakadályok okozta terheléseinek vizsgálata, szakdolgozat 2016
- [7] Nagy, T.: Gépjármű kerékdeformációk vizsgálata, szakdolgozat, 2017