

ULTRAKÖNNYŰ JÁRMŰ ELSŐ FUTÓMŰVÉNEK ÉS KORMÁNYZÁSÁNAK TERVEZÉSE

Sáska Márton

*géptervező BSc szintű hallgató, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros*

Bihari János

*egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: machbj@uni-miskolc.hu*

Absztrakt

Feladatom egy ultrakönnnyű jármű (pneumobil) első futóművének és kormányművének megtervezése volt. Ultrakönnnyű jármű alatt egy egyszemélyes, alternatív hajtású járművet értünk. A futóművel a váz és a kerék közötti kapcsolatot valósítjuk meg oly módon, hogy a fellépő úthibákra, irányváltásokra, kanyarokra minél gyorsabban és biztonságosabban reagálni tudjon a szerkezet, ily módon biztosítva a minél nagyobb sebességet az adott helyzetben, ezzel hozzájárulva a minél jobb köridőhöz. Éppen ezért ebben a cikkben egy olyan futómű tervezését mutatom be, mely geometriailag állítható, rugózott, csillapítja az úthibák okozta rezgéseket és költséghatékony.

A pneumobil olyan „pneumatikus jármű”, mely a sűrített levegő energiáját alkalmazva, pneumatikus vezérlő és végrehajtó elemek felhasználásával viszi át a nyomatékot a hajtott kerékre. [1]

Kulcsszavak: *futómű, pneumobil, költséghatékony, állítható*

Abstract

My task is to design the front suspension and steering of an ultra-light vehicle (pneumobil). In this context, ultra-light vehicle means a single-seater, alternatively powered vehicle. With the chassis, the connection between the chassis and the wheel is realized in such a way that the occurring road bumps, changing of directions, corners can be reacted as quickly, steadily and safely as possible, thereby ensuring the highest speed in the given situation, thus contributing to the best possible lap time. That is why I present in this article the design of a chassis that is geometrically adjustable, spring-loaded, dampens vibrations due to road errors and cost-effective.

The pneumobile is a pneumatic vehicle that uses the energy of compressed air to transfer torque to the driven wheel using pneumatic controls and actuators. [1]

Keywords: *suspension, pneumobil, cost-efficient, adjustable*

1. Bevezetés

Az Aventics Hungary Kft. 2019-ben 12. alkalommal hirdette meg Pneumobil versenyét, melyen a Miskolci Egyetem hallgatói minden évben részt vettek eddig. A "pneumobil" egy olyan speciális járművet foglal magában, melyet kizárólag sűrített levegő felhasználásával, ipari munkahengerek segítségével lehet mozgatni. A verseny elősegíti a fiatal mérnökhallgatók kreativitásának, látásmódjának és műszaki tudásának bővítését [7]. Ez az alternatív hajtásmód igen érdekes megoldásokat szült az évek során, melynek eredménye, hogy a járművek egyre jobban kidolgozottak, gyorsabbak és hatékonyab-

bak lettek, ezt a „pneumobil.hu” webhelyén megtalálható verseny eredményekből is láthatjuk, melyek évekre lebontva kereshetőek meg. Ezek a jellemzők nagyobb fokú biztonságot, stabilitást követelnek a kezdeti megoldásokhoz képest futómű terén is, hiszen egyes járművek már az 50 km/h végsebességet is túllépi (a kezdeti 25 km/h-hoz képest), a pályán pedig igen éles kanyarok találhatók, továbbá bukkanók, úthibák is, ezek jelentős igénybevételt jelentenek a jármű számára.

2. A futóművekről általánosan

A feladatom kidolgozása során tanulmányoztam a futóművek funkcióját, felépítését. A kerékfelfüggesztés valósítja meg a kapcsolatot a kocsiszekrény és a kerék között. A kerék pontos vezetését végzi, miközben a könnyű és kifogástalan kormányozhatóságot biztosít és elszigeteli a kocsiszekrénytől a gördülési zaj egy részét. Előre meghatározott kerékmozdulásokat tesz lehetővé, és erőátadást biztosít a kerék és felépítmény között. Kedvező, ha a futómű kis helyigényű és kis tömegű.

A kerék függőleges elmozdulásaival igyekszik kiegyenlíteni az útfelület egyenetlenségeit. Emellett más irányú elmozdulásokat és elfordulásokat is végez. A keréken menet közben ébredő erőket átadja a kocsiszekrénynek. Az útfelület és a kerék között keletkező erőknek megfelelően a kerekeknél különböző geometriai beállításokat kell megvalósítani. Az első kerekek kormányozottak, ezért egy térbeli ferde tengely körül, a függőcsap körül elfordíthatók. [2]

A legismertebb futóműtípusok, melyek közül választhatunk:

- Merev, gokart típusú felfüggesztés:
 - A kerék tengelye közvetlenül a vázhoz, vagy az első, kormányzott felfüggesztés esetén a tengelycsonk a kormányzáshoz szükséges elfordulást biztosító csuklókon/gömbfejeken keresztül csatlakozik a vázhoz, rugóstag és lengőkarok használata nélkül. Olcsó, de rugózatlansága miatt rosszabb útfelületen elveszíthetjük az irányítást.
- McPherson típusú futómű:
 - A kerék tengelycsonkját alul gömbcsuklós hárompontos keresztirányú felfüggesztés, a tengelycsonk felső részét pedig a teleszkópos lengéscsillapító vezeti meg. A lengéscsillapító akkor tölti be ezt a szerepét, ha a csillapító hengere mereven kapcsolódik a tengelycsonkhoz (pl. két csavarral rögzítve vagy besajtolva) és a csillapító rúdját a támcsapággal a felépítményhez rögzítik. [2]
Bár személygépkocsiknál igen népszerű, pneumobil esetén igen bonyolult lenne megvalósítani.
- Háromszög – trapéz keresztlengőkaros futóművek
 - Háromszög – trapéz keresztlengőkaros futóműveknél a tengelycsonkon három csukló található. Az alsó és felső csuklóhoz kapcsolódnak a hárompontos keresztirányú felfüggesztő elemek, míg a középső csuklóhoz első futóműnél a nyomtávrúd, hátsó futóműveknél az önkormányzást szabályozó rúd vagy az összkerékkormányzású rendszer esetén a hátsó nyomtávrúd. A korszerű típusoknál a tengelycsonk felső nyúlványa egészen a gumibroncs fölé emelkedik. A leggyakrabban alkalmazott futóműtípus. A kis és közepes kategóriájú autókban a McPherson típusú futómű versenytársa, a nagyobb kategóriájú gépkocsikban, versenyautókban, autóbuszokban egyre szélesebb körben alkalmazzák. A felfüggesztés geometriai méreteinek helyes megválasztásával szinte valamennyi dinamikus paraméter kedvezően alakítható. [2] Pneumobiloknál nagy előszeretettel alkalmazzák ezt a típust, könnyű gyárthatósága, jó állíthatósága és stabil úttartása miatt.

- Merevhidás futóművek:
 - A merevhidás futóműveknél a két kerék egymáshoz viszonyítva nem végezhet semmiféle mozgást, vagyis a futómű szabadságfoka nulla. A két kereket szilárdságilag merev tengelytest vagy híd kapcsolja össze. A kerekek a felépítményhez a tengelytest felfüggesztésén keresztül kapcsolódnak. A kerékfelfüggesztés szabadságfokát a felépítményhez viszonyított mozgásokból vezethetjük le. A tengelytest és így a két kerék x és y irányban nem mozoghat („x” tengely alatt itt egy, a jármű oldalával párhuzamos, a jármű orra felé mutató tengelyt értünk, míg az „y” maga a kerék tengelye, mely a járműből kifelé mutat). Ezt kényszerekkel lehet megakadályozni.
A kényszer lehet:
 - lengőrúd, mely egyszeres kényszer;
 - lengőkar, mely kétirányú kényszer;
 - laprugó, mely mozgást és forgást is képes megakadályozni.[2]
 Ez sem jól alkalmazható kialakítás pneumobiloknál, mivel igen nagy többletsúlyt jelentene és feleslegesen túlbonyolítaná a szerkezetet.

3. Igények meghatározása

A szabályzatban előírtakon túl a csapat úgy döntött, hogy a futóművet modernizálja, azaz követelmény lett egy rugózott, csuklós mechanizmus építése, mivel a korábbi években merev felfüggesztéssel versenyeztek a miskolci pneumobilok, és az úttartás, illetve kanyarstabilitás terén néha problémát okozott. További igény volt a bevezetésben említett költséghatékonyság és ezzel összefüggésben az is, hogy a futómű minden elemét egyszerű eszközökkel lehessen gyártani a Gép- és Terméktervezési Intézet műhelyében, illetve az állítható geometria is. A szerkezetnek továbbá elég strapabírónak kellett lennie, mely megbirkózik a verseny okozta terhelésekkel.

3.1. Futóműhöz köthető követelmények

A futóművet a jármű felépítésére vonatkozó általános szabályzatban foglaltak alapján kell megtervezni. A szabályzat vonatkozó pontjai a következők [1]:

1. A jármű megengedett maximális méretei:
 - 1.1. 2500 mm hosszúság.
 - 1.2. 1700 mm szélesség.
 - 1.3. Magasság a szélesség 90%-a.
 - 1.4. A jármű szabad hasmagassága 70 mm.
2. Felfüggesztés/kerékrögzés:
 - 2.1. Bármilyen elven működő kerékfelfüggesztés alkalmazható.
 - 2.2. A kerekek átmérője legalább 16” kell legyen.
 - 2.3. Elöl maximum 26” méretű kerekek használhatók, legalább 28 küllővel, minimum duplafalú felnival.
 - 2.4. A kerékfelfüggesztésnél műanyag alkatrészek nem használhatók.
 - 2.5. A versenypálya futófelülete aszfalt.
3. Kormánymű:
 - 3.1. A jármű bármilyen típusú kormány szerkezettel felszerelhető.

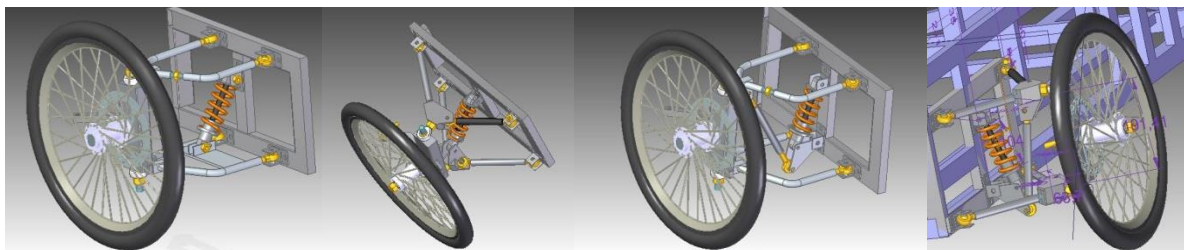
- 3.2. A járműnek könnyen kormányozhatónak, a vezető számára könnyen irányíthatónak kell lennie az esetleges hirtelen irányváltások alkalmával is, beleértve a kormány könnyű elfordíthatóságát is.
- 3.3. A kormány szerkezet maximálisan megengedett játéka 10° rögzített kerekek mellett.
- 3.4. A kormány múnél műanyag alkatrészek nem használhatók.
- 3.5. A járműnek meg kell tudnia fordulni a 8 m széles versenypályán. [1]

Ezen feltételek alapján látható, hogy a felfüggesztés működési elve szempontjából szabad kezet kaptam (2.1-es pont), ám a váz méretének és a maximális méret szempontjából vannak megkötések (1.1-1.3-as pont, illetve 3.5-ös pont), melyeknek meg kell felelni, továbbá a hasmagasságot is figyelembe kell vennem (1.4-es pont).

4. Megoldás variációk

A felfüggesztések típusainak megismerése után a keresztlengőkaros kialakítást tartottam a legmegfelelőbbnek, így annak elvéből kiindulva elkészítettem 4 féle megoldásvázlatot, amik a következők voltak:

- Hajlított csőből készült lengőkar, állítócsavarral, alsó lengőkarhoz tartozó rugótaggal (1. a ábra).
- Menetes rudakból, csatlakozóelemből bal és jobbmenetes csuklókból, alsó lengőkarhoz tartozó rugótaggal (1. b ábra).
- Hajlított csőből készült lengőkar, állítócsavarral, hímával és húzórudal (1. c ábra).
- Menetes rudakból, csatlakozóelemből bal és jobbmenetes csuklókból, hímával és húzórudal (1. d ábra).



1. a ábra

1. b ábra

1. c ábra

1. d ábra

1. ábra. Megoldás variációk

A megoldások elemzése után végül a negyedik megoldást választottam (1. d ábra), mely ugyan a legbonyolultabb szerkezet, viszont alkatrészei könnyen legyárthatók a tanszéken, a rugótag pedig könnyen elhelyezhető.

Ezek után a versenyszabályzat által előírt maximális szélességet és a kész váz méreteit figyelembe véve elkészítettem az előzetes modellt.

5. Méretezés, ellenőrzés

A kereket az út felületéhez szorító erő állandóan változik a rugózás, a felépítmény billegő, bólintó mozgása, a menet- és az oldalszél következtében fellépő átterhelődések miatt. Az egy kerékre jutó maximális erő meghatározásához az alábbi terheléseket vettem figyelembe: [2]

Z_{sti} – egy kerék statikus terhelése a jármű álló helyzetében;

ΔZ_R – a kerék és a felépítmény rugózásaiból adódó kerékterhelés változás;

ΔZ_1 – a járműre ható oldalero hatására bekövetkező kerékterhelés változás:

$$\Delta Z_1 = \frac{F_y \times h}{B} \quad (1)$$

ΔZ_2 – a felépítmény oldalbillenése következtében fellépő súlypont eltolódás (b) hatására fellépő kerékterhelés változás: (G_k -felépítmény súlyereje)

$$\Delta Z_2 = \frac{G_k \times b}{B} \quad (2)$$

ΔZ_3 – a fékezéskor vagy gyorsuláskor fellépő hosszirányú tehetetlenségi erő hatására bekövetkező kerékterhelés változás:

$$\Delta Z_3 = \frac{F_T \times h}{L} \quad (3)$$

ΔZ_4 – a felépítmény bólintó mozgása következtében fellépő súlypont eltolódás (a) hatására jelentkező kerékterhelés változás:

$$\Delta Z_4 = \frac{G_k \times a}{L} \quad (4)$$

A fenti értékekből adódik az alábbi képlet:

$$F_{zi} = Z_{sti} \pm \Delta Z_R \pm \Delta Z_1 \pm \Delta Z_2 \pm \Delta Z_3 \pm \Delta Z_4 \quad (5)$$

ahol:

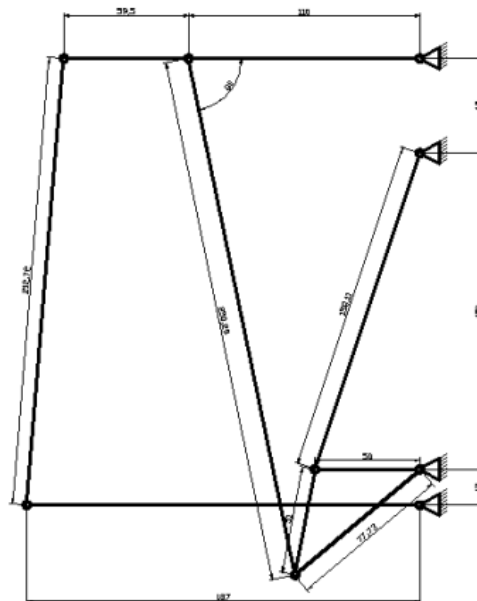
F_{zi} – az egy kerékre ható tényleges, dinamikus leszorító erő; [2]

Ezek meghatározásához szükség volt az alaptömegre, a fékezőerő maximális értékére (kerékpár tárcsaféknél), a jármű méreteire, a maximális kormányoszögre és a rugóút hosszár.

Az ezekkel a paraméterekkel elvégzett számítás eredménye több, mint 200 kg-os, vagyis $g = 10 \text{ m/s}^2$ -et használva 2000 N-os terhelést, mely alapján megkezdhettem a szilárdságtani számításokat.

A számításokhoz először elkészítettem a szerkezet kinematikai vázlatait (2. ábra), azokat derékszögű háromszögekre bontottam, így meg tudtam határozni az adott alkatrészekre ható erőket. Míg az egyszerűbb alkatrészeknél szilárdságtanilag tudtam méretezni és ellenőrizni, addig a bonyolultabbak esetén végeselemes szimulációt alkalmaztam, az előre kiszámolt erőkkal és ismert támasztási pontokkal.

Az így elvégzett számítások és ellenőrzések alapján megállapítottam, hogy az általam tervezett konstrukció megfelel a verseny során fellépő terheléseknek.



2. ábra. Kinematikai vázlat

6. Kormánymű

A kormányműnél egy, a miskolci csapatok által gyakran használt, bevált módszert alkalmaztam, mégpedig a huzalos kormányzást, melynek előnye, hogy a kormányt bárhova helyezhetjük a kerekekhez képest, drága és sok helyet igénylő kardántengely alkalmazása nélkül. Elve szerint egy nagyobb menetemelkedésű huzaltárcsát forgatunk a kormánykerékkel, mely egy-egy huzalt hűz, iránytól függően. ezek a huzalok egy kocsi mozgatnak egy sínen, a kocsihoz egy nyomtávrúd van kapcsolva, amelynek másik vége a tengelycsonkhoz csatlakozik (3. ábra).



3. ábra. Kormánymű

Az építés során ez a kivitel nem bizonyult optimálisnak, a végleges változatban a kocsi a vázhoz van csavarozva és a sín mozog.

Végül ki kellett szerkesztenem az Ackermann trapézát a tengelycsonkokhoz, hogy a kormányösszekötő pontos bekötési pontjait meghatározhassam.

7. Konklúzió

A futómű a számítások alapján megfelelt a terheléseknek, konstrukció szempontjából megfelel a csapat által támasztott követelményeknek, illetve gyártható volt az intézeti műhelyben. A legbonyolultabb alkatrész itt a csatlakoztató elem, de marógéppel ez is legyártható négyzettrúdból, míg a többi egység menetfűrást, legfeljebb hegesztést igényel. Az építés során apróbb, gyárthatóságot könnyítő változtatások történtek, de a konstrukció alapjait és lényegét nem változtatták meg.

A futómű a versenyen is jól szerepelt (4. ábra), stabil kanyartempót biztosított, csökkentette az úthibák okozta elpattogásokat, így a kerék-út kapcsolat nagyobb százalékban maradt fenn, tehát lényegesen jobb volt a tapadás.



4. ábra. Versenyben

8. 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 valósul meg.

Irodalom

- [1] XII. Nemzetközi Aventics Pneumobil Verseny 2018. - Versenykiírás és szabályzat
- [2] http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/kozuti_jarmurendszerek_szerkezettana/book.html#ch-III.1.
- [3] Horváth, T., Koprek-Ritter T., Sáska, M. által az Aventics Pneumobil versenyre beadott tervdokumentáció
- [4] Kamondi, L.: A gépészeti tervezés módszerei. Előadásanyag, Miskolc, 2016.
- [5] Nándori, F., Szirbik, S.: Szilárdságtan (Oktatási segédlet a Gépészmérnöki és Informatikai Kar Bsc levelezős hallgatói részére)
- [6] Terplán, Z.: Gépelemek I., Tankönyvkiadó, Budapest, 2006.
- [7] Bihari, J.: Pneumobile competition and education, Advanced Engineering 2 : 1 pp. 125-134., 10 p. (2012)