

# Egyedi leömlő tervezés Formula Student versenyautóhoz

## Design of an exhaust primary manifold for a Formula Student racecar

*KISS Márton Péter<sup>1</sup> BSc hallgató, DR. MOLNÁR Ildikó<sup>2</sup> egyetemi docens*

<sup>1</sup>Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
H-1081 Budapest, Népszínház u. 8., Telefon: +36 1 666 5319,  
Email: [kissmartonpeter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:kissmartonpeter@bgk.uni-obuda.hu), <https://uni-obuda.hu>

<sup>2</sup>Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
H-1081 Budapest, Népszínház u. 8., Telefon: +36 1 666 5319,  
Email: [molnar.ildiko@bgk.uni-obuda.hu](mailto:molnar.ildiko@bgk.uni-obuda.hu), <https://uni-obuda.hu>

### Kivonat

Az Obuda University Racing Team csapatának célkitűzése az Óbudai Egyetem első versenyautójának elkészítése. A Formula Student együlékes versenyautó megépítést követően nemzetközi versenyeken vehet részt más egyetemek csapatával megmérkőzve. A versenyautó megépítésénél motorfejlesztéskor a megbízhatóságot és egyszerűséget tűztük ki célul. A versenyautóhoz 4-1 elrendezésű leömlőt terveztünk, amelynek előnye, hogy magas fordulatszámra ad le nagyobb teljesítményt, mint egy 4-2-1 elrendezésű. A különböző fordulatszámokon történő viselkedést ANSYS FLUENT áramlástan szimulációval vizsgáltam.

**Kulcsszavak:** leömlő, kipufogó, CAD modell, áramlástan szimuláció, Formula Student versenyautó

## 1. Formula student versenyszabályok

A Formula Student versenysorozat egy nemzetközileg elismert egyetemisták által fejlesztett egyedi versenyautókról szóló műszaki és gazdasági kihívás, amely több országban is jelen van. Rengeteg szigorú szabály vonatkozik a jármű felépítésére és hajtására, az egyik ilyen szabály a szűkítőcső, amelyben egy helyen 20 mm-es szűkítőt kell elhelyezni. A maximum 710 cm<sup>3</sup> lökettérfogatú benzinmotorok teljesítményét jelentősen csökkenti, így a verseny csapat célja, hogy az elveszett lóerőket a szabályokat betartva visszanyerjék. Nagyon fontos az egyedi alkatrészek fejlesztése, mivel egy utcai használtra szánt erőforrást kell versenykörülmények között, nagy terhelésre használni. Ezeket az alkatrészeket különböző módszerekkel és irányelvekkel tervezik és valósítják meg a csapatok. A csapat koncepciója egy egyszerű, de megbízható jármű megvalósítása, amely az első autója lesz az egyetemnek. Az Obuda University Racing Team, amelynek tagja vagyok a 2023-as Formula Student East versenyre készül az első versenyautójával. Ehhez a járműhöz kerül fejlesztésre az egyedi leömlő.

## 2. Kipufogórendszer felépítése

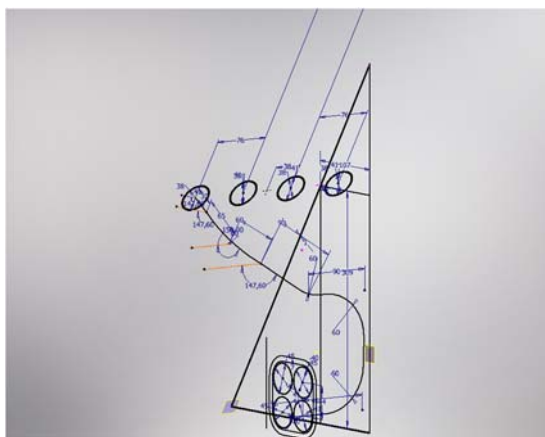
A kipufogó rendszer a belsőégésű motorok egyik legfontosabb eleme, a munkaütem után keletkezett kipufogógáz ezen az alkatrészen távozik, amely nagy szerepet játszik a motorok teljesítményében és karakterisztikájában. A kipufogórendszer több komponensből áll, a legáltalánosabb alkatrészek, amelyek minden hétköznapi autóban megtalálhatóak azok a leömlő, az összekötő (kollektor) szekunder kipufogócső és a rendszer végén a kipufogódob. A különböző hengershámú autókban ezek az alkatrészek különbözőek lehetnek és az anyaggal, méretükkel elrendezésükkel lehet módosítani a motor gyári adottságain.

A motorsportban a sikerek eléréseben már a kezdetek óta jelentőséggel bír a kipufogórendszer fejlesztése. A módosításokkal nagyobb teljesítményt és sebességet tudtak elérni és a motor fordulatszám tartományát is növelni tudták az új rendszerekkel, amelyeket a gázlendések ismeretével fejlesztettek.

A Formula Student versenysorozatban való részvételhez elengedhetetlen az egyedi verseny célra optimalizált alkatrészek fejlesztése és gyártása. A kipufogó rendszer kulcseleme a leömlő, amely számos fejlesztési célt kitűzve lett megtervezve. A cikkben az alkatrészhez kitűzött célokról és azok megvalósításáról fogok írni. [6;7;10]

### 3. A leömlő tervezése

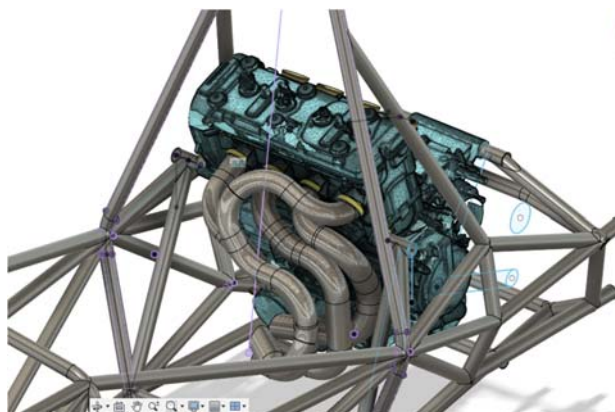
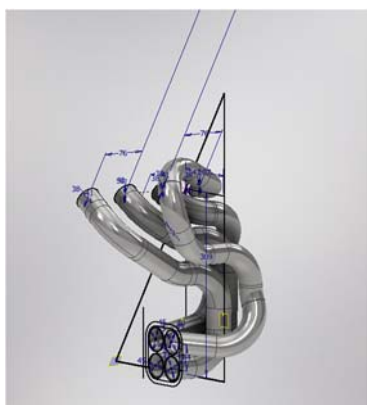
A hajtásrendszer főeleme egy Suzuki GSX R-600-as motorblokk, amelyhez gyárilag egy 4-2-1 elrendezésű leömlő lett fejlesztve a gyártó által. Ez egy népszerű és bevált konstrukció, mivel a motor alacsony-közép fordulatszám tartományon nagyobb forgatónyomaték leadására képes, ami egy utcai használatra szánt sportmotor esetében ideális, hiszen kényelmes kezelhetőséget biztosít a jármű vezetőjének. Esetünkben viszont az erőforrás egy versenyautóba kerül elhelyezésre, így teljesen megváltozik a blokk használati fordulatszám tartománya. Az elhelyezése a csővázban és a versenyszabályok betartása tovább nehezít az egyedi leömlő tervezését. A gyári 4- 2- 1 rendszer teljesen más paraméterek alapján van hangolva, mint amire nekünk szükségünk lesz, így a lehetőségeinket körüljárva 106 különböző szimulációt futtattam a cső hosszának és keresztmetszetének részletes vizsgálatához. Minden csőhosszt 100-600 mm-ig vizsgáltam 32, 35, 37, és 40 mm belső átmérővel. A szimulációk futtatására azért volt szükség, hogy az összes lehetséges lehetőséget megvizsgáljam a rendelkezésre álló hely és anyagok szempontjából.



1. ábra

A leömlő 1. hengerhez kapcsolódó csővének útvonala

A tervezési fázis első lépése a gyári alkatrész lemérése és elemzése volt, ahol megvizsgáltuk a leömlő bemeneti keresztmetszetét és cső hosszait. A szimulációk lefuttatása után kezdődött a tervezés, amelyet Inventor Professional 2023-ban végeztem el 3D sketch funkció használatával (1. ábra) A különböző csöveknek az útvonalát és a patentívek görbülési rádiuszát beállítva pontosan meg tudtam tervezni a csövek geometriáját és szögét. A leömlő fizikai határait is felrajzoltam, ami segített a pontos tervezésben. A pálya tervezésekor ügyelnem kellett a különböző csövek hosszára, hogy ezek minél közelebb kerüljenek egymáshoz. (2. ábra)



2. ábra

A leömlő CAD modellje

## 4. A leömlő szimulációs vizsgálata

A szimulációkhoz a Lotus Engine Simulation motor szimulációs programot használtam, ahol be tudtam állítani a motor paramétereit, az általunk fejlesztett airbox tulajdonságait és a leömlőn vizsgált adatokat. A vizsgált adatok a csövek belső keresztmetszete (40,37, 35, 32) és a hossza (100-600 mm 20 mm-ként mérve). [1]

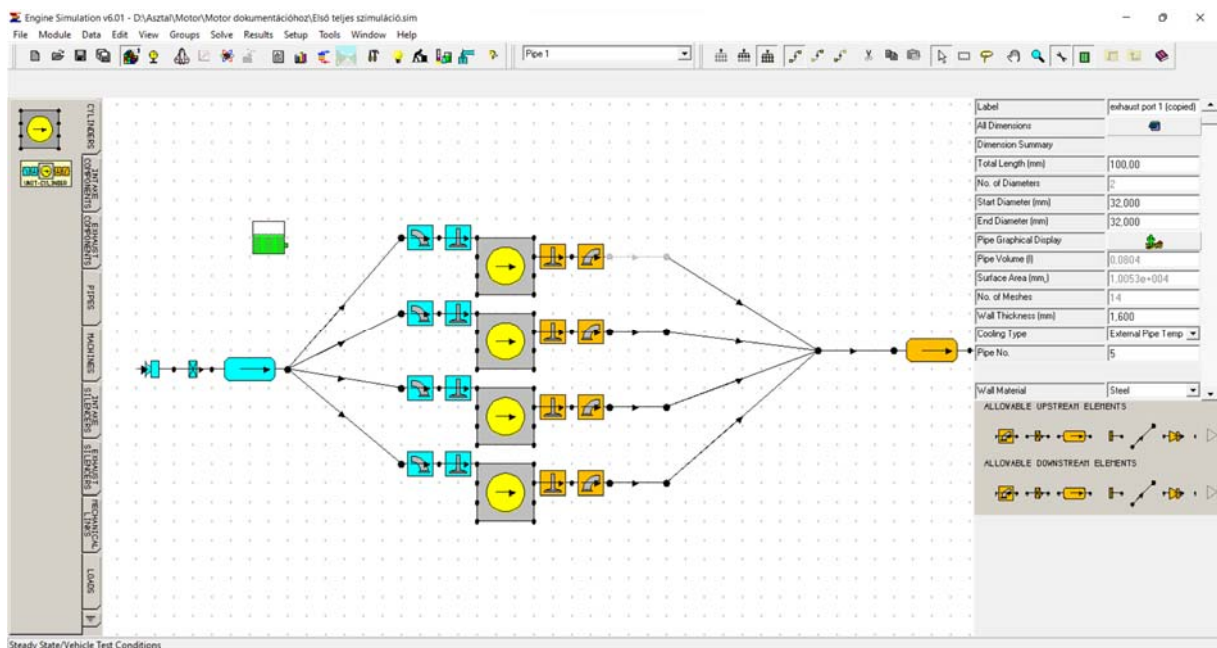
A tervezés után ANSYS FLUENT programban vizsgáltam a gázáramlás hatásait a leömlőre, ahol a különböző patentíveknél a kipufogógáz sebességére és áramlási hatásaira voltam kíváncsi.

### 4.1. A motor szimulációs programmal történő vizsgálata

A szimulációkból következtetve a 40 belső átmérőjű cső bizonyult számomra a legmegfelelőbbnek, mivel itt értem el a legmagasabb teljesítményt és forgatónyomatékat az erőforrásunkból. A forgatónyomaték 55-45 Nm között volt, 4000-12000 fordulatszám tartomány esetében. A számolt adatok alapján 45 Nm forgatónyomaték 40 km/h sebességnél 2G oldalirányú gyorsulást eredményez kanyarban, ami megfelelő a számunkra.

Az átmérő kiválasztása után a leömlő csövek kiválasztására került sor, 400-500 mm csövenkénti hosszánál áll rendelkezésre a legtöbb teljesítmény így a tervezés során ezt szintén figyelembe vettem. A járműben rendelkezésemre álló hely rendkívül kevés így a különböző csövek geometriái rendkívül bonyolultak, ezért nagyon pontos ív és szög meghatározására volt szükséges. A piacon vásárolható patentívek, amelyek megfelelőek számomra kis választékban fordulnak elő, így a DIN 11852 szabványú 90 fokos csőidomra esett a választásom, amelynek görbülési rádiusza 60 mm, ezt az adatot használtam a tervezésnél a különböző térbeli ívek tervezésénél.

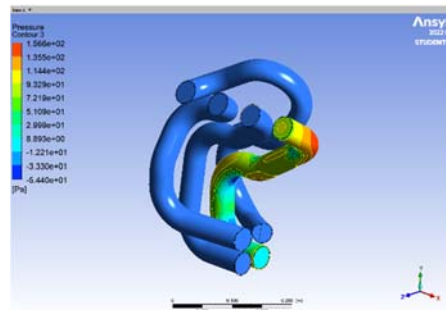
A patentívekhez, amelyek a leömlő elkészítéséhez szükségesek, különböző segéd gyártóeszközöket terveztem, hogy pontosan meg tudjam jelölni az általam tervezett szöget az idomon, majd azt később szalagfűrészsel méretre vágható legyen. A méretre vágás után következő gyártási folyamat az idomok és egyenes csövek kezdetleges hegesztése, ezt az 1-es hengernél lévő csővel kezdem, mivel az annál lévő idomok szögei közel 90 fokosak. A következő lépés a 3-as hengernél lévő csövek összeállítása, amelyet mindenképp le kell hegesztetni a kollektorhoz is. Ez a két cső behatárolja a másik két cső mozgásterét, amely a 2-es henger csövénél még nem jelent kihívást. A legbonyolultabb geometria a 4-es hengernél lévő cső, amely megkerüli a másik három henger leömlő csövét és úgy csatlakozik a kollektorba, ennél a csőnél több rövidebb patentívre lesz szükség így itt a legindokoltabb a segédeszköz használata.



3. ábra  
Lotus Engine Simulation program

## 4.2. Áramlási szimulációs vizsgálatok

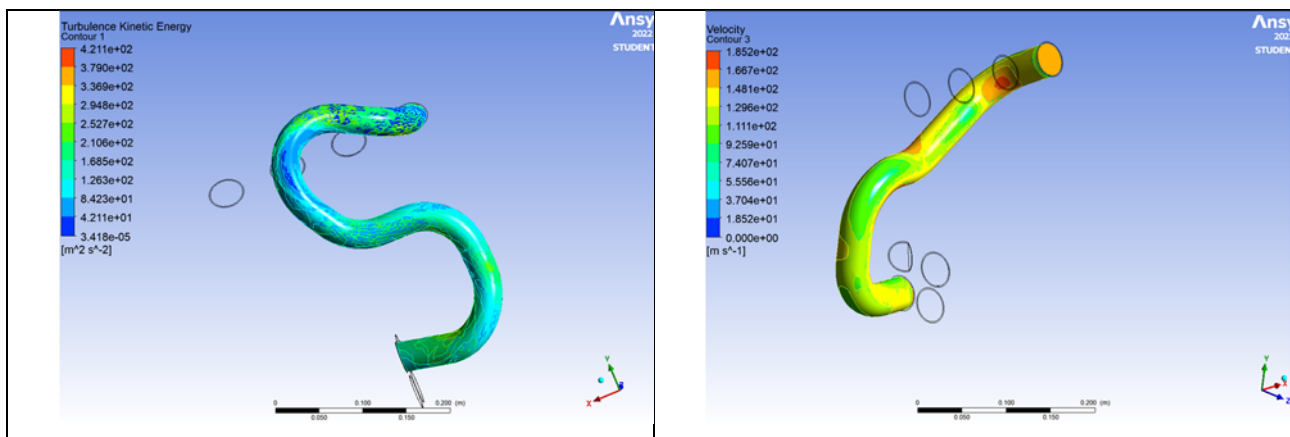
Áramlási szimulációra azért volt szükség, hogy az alkatrész különböző íveiben megismerhessük a kipufogógáz sebességét, a nyomáskülönbségeket és az esetleges turbulenciákat. A leömlő csövek vizsgálatához ANSYS FLUENT programot használtam, ahol a modell hálóját 0,01 m nagyságúra állítottam be és 100 iterációt futtattam le. A különböző csövek esetében peremfeltételként adtam meg a kipufogógáz sebességét 150 m/s, ezen kívül definiáltam falat és határrejteget. [2;3]



4. ábra

Az 1. henger leömlőcsövében lévő nyomás különbségek

Az első patentívénél látható vörös folt jelzi, hogy a legnagyobb szögkülönbségnél keletkezik a legnagyobb nyomás.



5. ábra

A 4.-ik henger leömlőcsövében fellépő turbulencia, és az 1. henger leömlőcsövében áramló kipufogógáz sebessége

## 5. Összegzés

A leömlő gyártása a versenyautó hajtáselemeinek építése után fog elkezdődni, ahol megkapom leömlő számára rendelkezésre álló helyet. A szimulációk alapján az egész hajtásrendszer 75 lóerőt és 55 Nm forgatónyomatékot tud leadni maximálisan. Ennek validálását a motorprogram megírásakor és mérőpadon végzett mérések után tudjuk elvégezni. Egy ilyen bonyolult alkatrésznél szükséges a gyártás pontos megtervezése, hiszen a legapróbb eltérések is kritikusak lehetnek a patentívek görbülési rádiuszában és szögében, ezek eltévesztése vagy pontatlan gyártása elronthatja az egész cső felépítését és a szimulációkból kapott eredmények nem a valóságot fogják tükrözni.

## Irodalmi hivatkozások

- [1] <https://www.donaldson.com/content/dam/donaldson/engine-hydraulics-bulk/catalogs/Exhaust/North-America/F110028-ENG/Exhaust-Product-Guide.pdf>
- [2] [https://1library.net/document/y80p110q-muffler-design-development-and-validation-methods.html?utm\\_source=search\\_v3](https://1library.net/document/y80p110q-muffler-design-development-and-validation-methods.html?utm_source=search_v3)
- [3] [https://www.researchgate.net/publication/230807367\\_A\\_Practical\\_Approach\\_towards\\_Muffler\\_Design\\_Development\\_and\\_Prototype\\_Validation](https://www.researchgate.net/publication/230807367_A_Practical_Approach_towards_Muffler_Design_Development_and_Prototype_Validation)
- [4] <https://www.linkedin.com/pulse/design-analysis-exhaust-system-formula-student-race-car-fasulo>
- [5] <https://www.britannica.com/technology/muffler-engine-part>
- [6] <https://www.goodfabs.com/post/use-of-materials-in-exhausts>
- [7] [https://dieselnet.com/tech/diesel\\_exh\\_mat.php#fail](https://dieselnet.com/tech/diesel_exh_mat.php#fail)
- [8] [https://www.outokumpu.com/products/product-ranges/supra?gclid=Cj0KCQjw39uYBhCLARIsAD\\_SzMRJhqkwIQvxBlhxraaKq2HCWzxSrBwjxs-SjUk9-5owfT1CdfoiJ6caAnQsEALw\\_wcB](https://www.outokumpu.com/products/product-ranges/supra?gclid=Cj0KCQjw39uYBhCLARIsAD_SzMRJhqkwIQvxBlhxraaKq2HCWzxSrBwjxs-SjUk9-5owfT1CdfoiJ6caAnQsEALw_wcB)
- [9] <https://www.metalshims.com/t-316-Stainless-Steel-technical-data-sheet.aspx>
- [10] Scientific Design of Exhaust and Intake Systems Philip H. Smith, John C. Morrison Bentley Publishers January 1 1971