

# BUKÓÖRVÉNYLÉSI-ARÁNY VIZSGÁLATA KÉT ELTÉRŐ MOTOR SZELEPVEZÉRLÉS ESETÉN

## INVESTIGATION OF TUMBLE RATIO IN TWO DIFFERENT ENGINE VALVE CONSTRUCTIONS

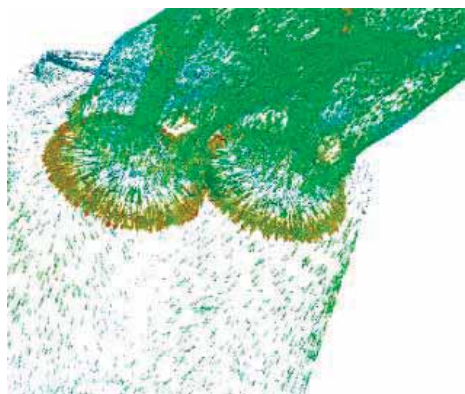
Kovács László\*, Dr. Szabó Szilárd\*\*, Dr. Bolló Betti\*\*\*

### ABSTRACT

*In our research we investigated the possibility of offering a viable alternative for internal combustion engines' poppet valves. The new system improves the efficiency of the gas exchange process. To underline the superior parameters of the newly designed valve system comparative numerical simulations were conducted in order to define the tumbling action inside the cylinder using poppet valve and Swinging Valve arrangements. Keeping the flow parameters identical results showed marked improvements in the tumbling action which is a prerequisite of successful employment of the extra lean working principle in stratified charging engines.*

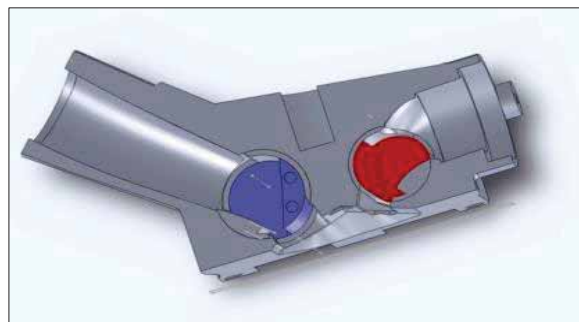
### 1. BEVEZETÉS

A belsőégésű motorok szívóüteme során a friss töltet a szívószelep tányérjának hátulról nekicsapódik, amely jelentősen rontja a beömlés hatásosságát. Ennek eredményeként a henger töltöttsége csökken, az erőforrás pedig nem éri el az elméletileg megvalósítható teljesítményt. Több módszer létezik a henger töltöttségének javítására, ezek közül legelterjedtebb a turbótöltő alkalmazása. Viszont az alapvető hiányosságot ez a módszer sem szünteti meg, az összesűrített levegő áramlását ebben az esetben is akadályozza a szeleptányér. A helyzetet az 1. ábra mutatja be.



1. ábra A szelep hátoldala által eltérített áramlás

A hagyományos szelepek másik problematikus részegysége a szeleprugó. Mivel rugalmasságánál fogva hozzá létre a kapcsolatot a vezérmű alkatrészei és a szelep között, magasabb fordulaton a szelep elveszítheti kapcsolatát a vezérmű bütyökkel. Ez azonnali motorkárosodást eredményez. Az általunk ajánlott lengőszelepes konstrukció (2. ábra) alkalmazásával mindkét hátrány orvosolható, hiszen a szelep test nyitott állapotban nem akadályozza az áramlást, miközben nyitáshoz és zárva tartáshoz nem szükséges rugó alkalmazása. E megoldásnál a szeleptest lengőmozgást végezve fordul ki-be az áramlási keresztmetszetből. Ezen tulajdonságok vizsgálatáról az [1] és [2] közlemény tartalmaz bővebb információt.



2. ábra Lengőszelepes hengerfej kialakítása. (Kék: szívó szelep, piros: kipufogó szelep)

### 2. KORÁBBI VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

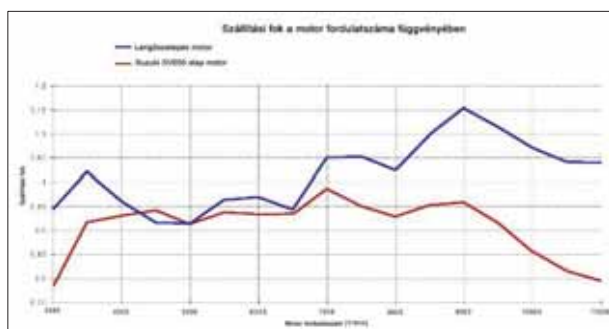
A kutatás korábbi szakaszában egy hagyományos szelepekkel szerelt motor paramétereit görgős fékpadi eljárással határoztuk meg [3]. Ezt követően elkészült egy lengőszelepes hengerfej modell, amely segítségével a hagyományos szelepekkel szerelt hengerfejjel összehasonlító áramlási vizsgálatokat hajtottunk végre [2]. Ezekből a vizsgálatokból egyértelműen kiderült, hogy a lengőszelepes konstrukció lényegesen jobb áramlási jellemzői (az áramlási együttható tekintetében a javulás szívó szelepesetén 14,5%, kipufogó szelep esetén 11,36%) nagyobb hatásfokú erőforrás megalkotását teszik lehetővé. Az áramlástan mérés során kapott

\* doktorandusz hallgató, \*\* professzor emeritus, \*\*\*egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Áramlás-és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

eredmények felhasználásával egy-egy számítógépes motormodell készült. Az ülékes szeleppel szerelt erőforrás OD/1D modelljének validálása az előzőleg lefolytatott fékpadi próba alapján történt. Ezt követően a lengőszelepes konstrukció számítógépes szimulációja is megtörtént. Ennek során elvégzett elemzések az áramlástan vizsgálatoknak megfelelő eredményeket mutattak (3. ábra) [4]. A kutatás során felhasznált eszközök főbb technikai paramétereit az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat Vizsgálat során alkalmazott eszközök főbb paramétereit

Motor konstrukció	4 ütemű, kéthengeres V henger elrendezésű
Furat/löket	81/62,6 mm
Lökettérfogat	645 cm <sup>3</sup>
Áramlástan mérőpad:	Superflow SF600
Görgős teljesítménymérő	Superflow Cycledyne SF250
OD/1D szimulációs szoftver	Optimum Virtual 4stroke

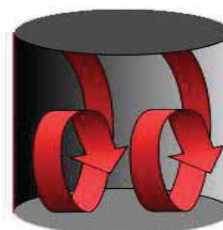


3. ábra Lengőszeleppel (kék) és ülékes szeleppel (piros) elérhető hengertöltöttségi fok vizsgálat eredménye [4]

### 3. RÉTEGES TÖLTÉSŰ MOTOROK

A jelenlegi energia válsággal sújtott környezetben az erőforrások tüzelőanyag felhasználásának csökkentése kiemelt hangsúlyt kap. Ennek megvalósítására többféle módszer kínálkozik, legszélesebb körben a réteges hengertöltet kialakítást alkalmazzák. Ennek lényege, hogy a benzinüzemű motorok égéstérében, a hagyományostól eltérően, a tüzelőanyag égésére nem homogén keverékként kerül sor. A réteges töltésű motorokban a tüzelőanyag koncentrációja a gyújtógyertya környezetében a legnagyobb, lehetővé téve a töltet meggyújtását, míg az égéster szélei felé haladva a tüzelőanyag koncentrációja jelentősen csökken, olyan mértékben, hogy az már a hagyományos módon, szikrával nem is lenne meggyújtható. Annak érdekében, hogy a vázolt tüzelőanyag eloszlás megvalósulhasson, a hengerbe lépő levegőnek olyan

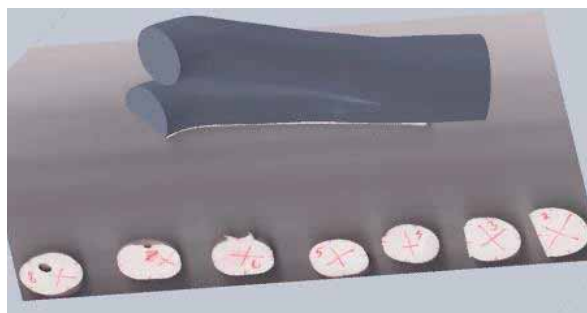
örvénystruktúrát kell felvennie, amely lehetővé teszi, hogy a gyújtás pillanatában a megfelelő mennyiségű és minőségű benzin-levegő keverék tartózkodjon a gyertya környezetében. Az ilyen keverékeloszlást elsősorban a bukóörvénylésnek (tumble) nevezett áramlási szerkezettel lehet elérni (4. ábra). E struktúra a szelepek bezárása után, egészen a gyújtás időpontjáig fennmarad, a megfelelő mértékű örvénylés elengedhetetlen feltétele a szükséges keverék eloszlás megvalósulásának. Kialakulását jelenleg különféle áramlás terelő, örvénykeltő lapokkal biztosítják, amelyek elkerülhetetlen áramlási veszteségeket okoznak a szívócsőben, rontva ezzel a henger töltési fokát [5].



4. ábra Bukó örvénylés (Tumble) a hengerben [6]

### 4. NUMERIKUS MODELL A TÖLTET MOZGÁS VIZSGÁLATÁRA

A töltetmozgás vizsgálatát CFD modellezés felhasználásával végeztük el. Ehhez megalkottuk a hengerfejek számítógépes 3D modelljeit. Műszaki rajz híján az ülékes szelepes hengerfej esetén két komponensű szilikon gumi alkalmazásával lenyomatot készítettünk a szívócsőről. Ezt feldarabolva, a keresztmetszeteket lemérve állítottuk elő a szívócső 3D-s modelljét (5. ábra).



5. ábra A szívócső feldarabolt szilikon modellje és a szeletek alapján létrehozott 3D modell

Ennek alapján készült el a lengőszelepes verzió 3D modellje is, amely így az ülékes szeleppel szerelt hengerfejjel azonos irányú beömlést tesz lehetővé a hengerbe. Ezáltal a két hengerfej modell esetén csak a szeleprendszer kialakítása különbözik, az áramlási keresztmetszetek nagysága, illetve a szívócső által létrehozott áramlási irány és beömlési szög azonos. Az

elkészült modelleket tovább finomítottuk, hogy a CFD modellbe integrálásuk zökkenőmentes legyen. Ezt a célt az Ansys szoftvercsalád termékeivel valósítottuk meg. A modell utómunkákat Space Claim programmal végeztük el, az áramlástani modell futtatására pedig a Fluent programot használtuk.

#### 4.1. Hálófüggetlenségi vizsgálat

Mivel a CFD szoftver eredményeinek pontossága befolyásolja a vizsgálat minőségét [7], ezért a modellek többféle hálózási konfigurációval is futtatásra kerültek. Minden esetben a CutCell módszer került alkalmazásra, mert csak ezzel lehetett elkerülni a dinamikus hálózás során fellépő töredék cellák kialakulását, ami az egész folyamatot lebénította. Erre a dugattyú mozgás modellezése miatt volt szükség. Fontos részlet még a kezdeti cella méret megválasztása is. Ha ugyanis a hagyományos szeleppel szerelt hengerfej esetén a cellák mérete nagyobb volt egy bizonyos határértéknél, akkor a szelepek jelenléte torzította a hálót, leállítva a szimulációt (6. ábra).



6. ábra A kritikus hálósűrűséget meghaladó méret esetén kialakuló eltérő kiterjedésű cellák a dinamikus áramlási vizsgálat szempontjából "mozgó" felületen

A vizsgálat során a futáshoz szükséges kritikus cellaméretnél sűrűbb hálózások kerültek ellenőrzésre, ám az áramlási eredmények lényegi eltérést nem mutattak szemben a vizsgálat időtartamával, amely jelentősen növekedett. A kutatás ezen szakaszában szerzett tapasztalatok alapján a lengőszelepes hengerfejnél is az üléses szelep esetén bevált, a stabil futtatást lehetővé tevő kritikus hálózási paraméterek kerültek alkalmazásra, amelyeket a 2. táblázatban foglaltunk össze.

2. táblázat CFD vizsgálat során alkalmazott hálózási paraméterek

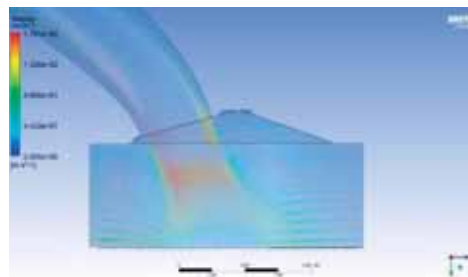
	Általános cellaméret	A dugattyú felületén alkalmazott cellaméret
Alap eset (kritikus méret)	2 mm	1 mm
Finomított hálózás 1.	1 mm	0,5 mm
Finomított hálózás 2.	1 mm	0,25 mm

## 5. CFD MODELL EREDMÉNYEINEK ELEMZÉSE

A modell vizsgálatok futtatására 7000 1/perc fordulatszámra került sor, amely a 0D/1D szimulációk alapján a legnagyobb tömegáramot hozza létre a szelepeken [3, 4]. A két szeleprendszert a legnagyobb dugattyúsebességnél hasonlítottuk össze, amely jelen esetben 23,5 m/s, amely a forgattyús tengely 75 fokkal a felső holtpont utáni állásánál valósul meg.

### 5.1. Grafikus elemzés

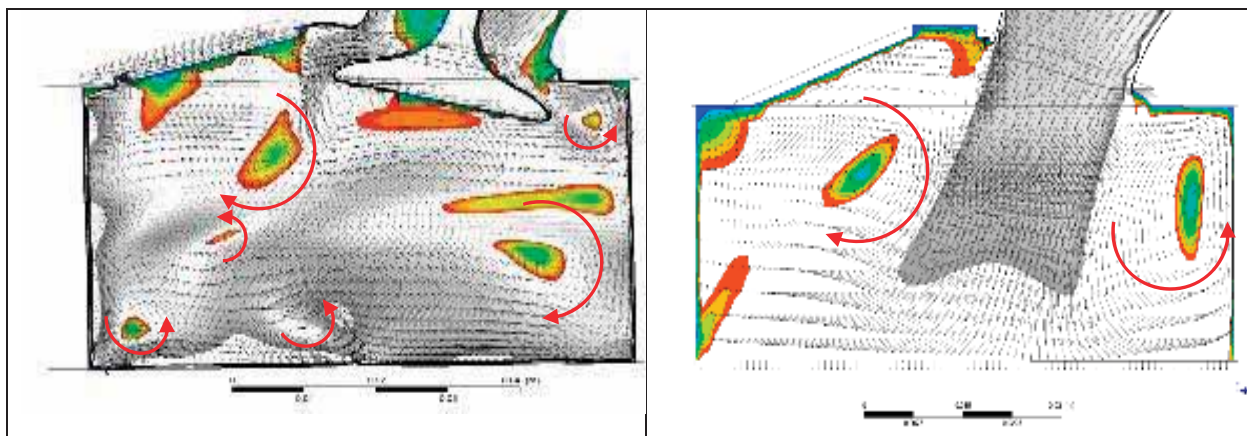
A szükséges áramlási adatok szoftverből való kinyeréséhez a lengőszelep esetén a henger szimmetria síkjában, míg az üléses szelep esetén az egyik szelepszár tengelyén átmenő síkban vizsgáltuk az áramlást. Az adatok táblázatos, illetve grafikus ábrázolása rávilágított a két szeleprendszer lényeges különbségére: Amíg a hagyományos szelep esetén a szeleptányér az áramlást szétterülő formában a szívócső felőli hengerfalra és a hengerfejjel párhuzamos irányba kényszeríti (lásd 1. ábra), addig a lengőszelep esetén a meghatározó légtömeg a dugattyú középpontja felé mozog. Ebben az esetben maga a dugattyú és a hengerfalak az áramlás fő irányítói, miközben az áramlást csak a hengerrel és dugattyúval való ütközésük tereli (7. ábra)



7. ábra A lengőszelepes hengerfejben a gázáramot a hengerfej és a henger fal irányítja

### 5.2. Bukóörvénlyési-arány meghatározása

A motorműködés szempontjából lényegesen előnyösebb a stabil, nagyméretű örvénylés, mivel a réteges töltésű motorok hatékony működéséhez szükséges keverékeloszlás nagyobb fordulatszám-tartományban hozható létre. A túl nagy fordulatszámú, kis térfogatra koncentrálódó örvénylés ezzel szemben kerülendő. Ennek oka, hogy a gyors gázmozgás szétteríti a hengerbe közvetlenül befecskendezett tüzelőanyagot, nehezítve a szükséges keverék rétegződést, illetve az örvénylés miatt a munkaközeg hőátadása a hengerfalaknak nagyobb mértékű lesz. Így a munkaközeg energiatartalma a hűtőrendszerbe távozik, amely egyértelmű hatásfok csökkenést jelent. A grafikus elemzésből egyértelműen láthatóvá vált az örvényszerkezetek felépítése.



8. ábra A hengerfejekben a sebesség kontúros és vektoros ábrázolásával azonosíthatóvá váltak a kialakuló örvényrendszerek. A szürke szín a gyorsan mozgó gáztömeget, míg a színes mezők a forgó gáztömegek központi zónáit teszik láthatóvá. Bal oldalon a hagyományos szeleppel szerelt hengerfej, míg jobb oldalon a lengőszelepes hengerfej áramlási képe látható

A 8. ábrában látható szürke zónák reprezentálják a gyorsan mozgó töltetrészeket, míg a színes zónák az örvényterek közepét jelzik, ahol a töltet mozgási sebessége közel nulla értékű. Mint látható, a lengőszelepes rendszer az előzőekben említett kritériumoknak megfelel. A falak mentén kialakuló stagnáló zónákat nem számolva két nagyobb méretű örvény képződik.

Ezzel szemben a hagyományos szelep esetén ugyanezt a számlálási elvet alkalmazva hat kisebb méretű, gyorsan forgó örvényrendszer alakul ki, amely éppen a kerüendő megoldás lenne. Az ábrában látható világos, de nem színezett részek a rajz síkjára merőlegesen mozgó légtömeget jelzik. A vektorokat megfigyelve további fontos eltérés rajzolódik ki a két szeleprendszer által kialakított bukóörvénylesek között: Az áramlási irányok, méretük és forgási sebességük eltérő.

Az adatelemzéshez a szakirodalomban alkalmazott módszer [8] biztosított kiindulási pontot. Az elmélet a bukóörvényleésben résztvevő légtömeget szilárd testként kezeli az áramlási térben. Kerületi sebességét, valamint az örvényleő gáztömeg sugarát a szimuláció táblázatos eredményeiből határoztuk meg, amely adatok felhasználásával meghatározhatóvá vált az örvényleés fordulatszáma:

$$n_0 = \frac{30 \cdot v}{r \cdot \pi}, \quad (1)$$

ahol:

- $n_0$ : örvényleés fordulatszáma [1/perc],
- $r$ : az örvény külső forgási sugara [m].
- $v$ : az  $r$  sugáron az örvény kerületi sebessége [m/s],

Az így meghatározott fordulatszám és a vizsgálat során alkalmazott motorfordulatszám arányából számítható a bukóörvényleési-arány (BA) [9, 10]:

$$BA = \frac{n_0}{n_m}, \quad (2)$$

ahol:

- BA: bukóörvényleési-arány [-],
- $n_m$ : motor fordulatszám [1/perc].

### 5.3. Szeleprendszerek összehasonlítása

Mivel a vizsgálat célja a hagyományos és a lengőszelepes rendszer összehasonlítása, ezért a bukóörvényleési-arány meghatározást ki kellett egészíteni oly módon, hogy a mozgásban résztvevő gáztömeg nagysága is megjelenjen az eredményekben. Itt visszautalunk az 5.1 szakaszban található információra, vagyis a hatékony réteges keverékeloszlás kialakítása szempontjából egy nagyobb méretű, tehát nagyobb tömegű gázt magában foglaló örvény kívánatosabb, mint egy nagyon gyorsan forgó, de kis méretű örvény. Ennek nyomán bevezetésre került a relatív bukóörvényleési arány (RBA), amely megmutatja, hogy az örvény mérete és henger mérete milyen arányban áll egymással. Ebben az esetben minél nagyobb a relatív bukóörvényleési-arány, annál kedvezőbbek a feltételek a hatékony, alacsony hőveszteséggel rendelkező, réteges keverékképzésű égést alkalmazó munkafolyamat kialakítására. Ennek számítása a következőképpen történik:

$$RBA = \frac{r_H \cdot BA}{r}, \quad (3)$$

ahol:

- RBA: Relatív bukóörvényleési-arány [-],
- $r_H$ : henger sugara [m].

Elvégezve fenti számításokat a lengőszelepes konstrukció relatív bukóörvénylési aránya 36,69%-al bizonyult nagyobbak a kipufogó oldali örvénytérben. A szívó csatorna felőli oldalon vizsgálva a relatív bukóörvénylési-arányt szintén a lengőszelepes konstrukció mutatja a jobb eredményt 10,45%-al kedvezőbb értékeket produkálva, mint a hagyományos üléses szelep. A kapott értékek megmutatják, hogy az 5.2 pontban részletezett kritériumoknak megfelelő áramlási rendszer a lengőszelepes megoldás geometriájából fakadóan, természetsszerűleg alakul ki. Ugyanezekkel az értékekkel rendelkező örvénytér üléses szeleppel csak áramlás terelő lapok segítségével, vagy speciálisan kialakított örvénykeltő szívócsatorna elrendezésekkel valósítható meg. Mindkét alkalmazott megoldás csökkenti a hengerbe juttatható töltet mennyiségét, miközben az erőforrás, mint szerkezeti egység komplexitása, adott esetben beépítési mérete, tömege növekszik.

## 6. A VIZSGÁLAT EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Jelen kutatási munkánkban bemutattuk a lengőszelep kialakításából fakadó hatékonyabb áramlási terek létrejöttét. A grafikus elemzés alapvető örvénylési különbségekre világított rá a két szeleprendszer tekintetében. Vizsgálatunk eredményeként egyértelmű, hogy a lengőszelepes konstrukcióval elérhető kedvezőbb örvénytér elősegíti a réteges töltésű motorokban a megfelelő eloszlású friss tüzelőanyag/levegő töltet kialakulását. A lengőszelep tömítettségét biztosító megoldások közül a deformálódó égéstérbetét nyújtja a legnagyobb biztonságot. Ezzel a megoldással a szelep felületére ható súrlódó erő csak addig a pillanatig áll fent, amíg a hengertér nyomása elegendő a betét tömítőszélének szelep felületére szorításához. Ezek a megoldások már a múlt század elején is rendelkezésre álltak, ám az anyagtechnika és tervezési eljárások akkori színvonalán még nem érték el a szükséges fejlettségi fokot [11]. Az elengedhetetlen kopásállóságot és mechanikai szilárdságot a megfelelő MMC, CMC, illetve tisztán kerámia szeleptest (pl. SiN) alkalmazása biztosíthatja. A legmegfelelőbb mechanikai és termikus tulajdonságokkal rendelkező anyagok kiválasztása külön kutatási feladat részét képezik. Számítással igazoltuk, hogy a lengőszelepes rendszer alkalmazásával kevesebb, lassabban forgó, de nagyobb forgó tömeggel rendelkező örvényrendszer alakul ki, amely jobban megfelel a hengerben elérni kívánt hatékony tüzelőanyag felhasználást biztosító áramlási jellemzőknek. Az áramlástanai modellből az is kiderült, hogy a lengőszelepes rendszer alkatrészei, miközben a fent említett előnyös áramlási teret biztosítják, elrendezésükkel nem korlátozzák a hengerbe ömlő friss

keverék mennyiségét. Így könnyebben megvalósítható egy olyan erőforrás, amely a szükséges motorjellemzőket csökkentett lökettérfogattal, ám egyébként segédberendezések használata nélkül (pl. turbó) valósítja meg, viszonylag alacsony előállítási költségek mellett. Ezért kijelenthető, hogy a koncepció illeszkedik és a helyes irányban mozdíthatja elő a globálisan kívánatos motor méretcsökkentési céloknak megfelelő erőforrások fejlesztését. A lengőszelep geometriai elrendezése folytán további lehetőségek rejlenek még az esetlegesen implementált változó szelepvezérlésében is.

## 7. IRODALOM

- [1] Kovacs, L.: *Magas fordulátú belsőégésű motor szelepvezérlési rendszerének elemző vizsgálata*, GÉP 2014/1., 2014. LXV. évfolyam, 28-33.
- [2] Kovacs, L., Szabo, Sz.: *Comparative study on the improvement of the gas exchange process efficiency of a high-speed IC engine using swinging valve*. *Analecta Technica Szegedinensia*, 2019. 13(2), 28-37.
- [3] Kovacs, L., Szabo, Sz.: *Improving the power characteristics of an Internal Combustion Engine with the help of a 0D/1D engine model*, *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, 2015. Tome XIII – Fascicule 2, 83-88.
- [4] Kovacs, L., Szabo, Sz.: *Test validated 0D/1D engine model of a Swinging Valve internal combustion engine*, *Multidiszciplináris tudományok*, 11. kötet, 2021. 4 sz. pp. 266-277
- [5] KAPLAN., M.: *Influence of swirl, tumble and squish flows on combustion characteristics and emissions in internal combustion engine-review*, *Amasya University Technology Faculty, Mechanical Engineering Department*, Published by Editorial Board Members of IJAET, 2019. e-ISSN: 2146 – 9067
- [6] Mohammadebrahim, A., Hannania, S. K. and Shafii M. B.: *Investigation into the effect of intake port geometric parameters and blockage on flow coefficient and in-cylinder flow: Application to engine port design*. *Scientia Iranica B* (2014) 21(2), 438-448
- [7] Hamid, M. F., Idroas, M. Y., Sa'ad, S., Teoh Yew Heng, T. Y., Mat, S. C., Alimuddin, Z., Shamsuddin, K. A., Shuib., R. K., and Abdullah, M. K.: *Numerical Investigation of Fluid Flow and In-Cylinder Air Flow Characteristics for Higher Viscosity Fuel Applications Processes* 2020, 8, 439; doi:10.3390/pr8040439, ISSN 2227-9717

- [8] Falfari, S., Brusiani, F., Bianchi, G. M.: *Numerical analysis of in-cylinder tumble flow structures – parametric 0D model development*, 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013, 2014. Energy Procedia 45, 987 – 996
- [9] Falfari, S., Brusiani, F., Pelloni, P.: *3D CFD analysis of the influence of some geometrical engine parameters on small PFI engine performances – the effects on the tumble motion and the mean turbulent intensity distribution*, 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013, 11-13 September 2013, Bologna, Italy, 2014. Energy Procedia 45, 701 – 710,
- [10] Bozza, R., De Bellis, V., Fantoni, S. and Colangelo, D.: *CFD 3D Analysis of Charge Motion and Combustion in a Spark-Ignition Internal Combustion Engine under Close-to-Idle Condition*, E3S Web of Conferences 197, 75° National ATI Congress – #7 Clean Energy for all (ATI 2020), 2020. Rome, Italy, September 15-16, 2020
- [11] Kovács, L.: *Ritkább, mint a fehér holló: Forgószelepes motorkonstrukciók*. Autótechnika: Javítás és Kereskedelem (1588-9858), 2013.07. pp 16-19 (2013)