

Kétütemű motorkerékpár-motor teljesítménynövelésének környezetvédelmi és közlekedésbiztonsági összefüggései

Environmental and traffic safety relations of tuning a two-stroke motorcycle engine

NAGY Péter¹, Dr. SZABADOS György², Prof. ZSOLDOS Ibolya³

¹ Széchenyi István Egyetem, Audi Hungaria Járműmérnöki kar, Belsőégésű motorok és Járműhajtások Tanszék, 9027 Győr, Egyetem tér 1., nagy.peter@ga.sze.hu

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék,

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., szabados.gyorgy@mogi.bme.hu

³ Széchenyi István Egyetem, Audi Hungaria Járműmérnöki kar, Anyagtudományi és Technológiai Tanszék, 9027 Győr, Egyetem tér 1., zsoldos@sze.hu

Abstract

Although the majority of motorcycles on the road are powered by a four-stroke engine, the number of two-stroke motorcycles is still not negligible. Increasing the performance of smaller, older motorcycles used in road traffic under workshop conditions is quite common. The aim of our research was to make design changes to the engine of a selected cycle, and to evaluate the effect of performance increase and other parameters objectively with a by our own built measuring system. In our article, we first introduce two-stroke motorcycles in today's road traffic environment and analyze opportunities to increase performance. This is followed by the presentation of comparative tests of the base engine and the power-enhanced engine fitted to the built test system and the evaluation of the results. The final part of our study deals with how to harmonize tuning with the requirements of Regulation (EU) No. 168/2013 of the European Parliament and of the Council, which deals with the requirements for changes in emissions, noise, speed and power.

Keywords: motorcycle, two-stroke engine, tuning, traffic environment, traffic safety

Kivonat

Bár a közúti forgalomban lévő motorkerékpárok nagy része négyütemű motorral hajtott, még mindig nem elhanyagolható a kétütemű motoros kerékpárok száma. A kisebb teljesítményű, régebbi gyártású közúti forgalomban használt motorkerékpárok teljesítményének műhely körülmények közötti növelése meglehetősen elterjedt. Kutatási munkánk célja az volt, hogy egy kiválasztott kerékpár motorján konstrukciós változtatásokat végezzük el, és az önállóan felépített mérőrendszerrel objektíven tudjuk értékelni a teljesítmény növelés és egyéb paraméterekre gyakorolt hatását. Cikkünkben, először bemutatjuk a kétütemű motorkerékpárokat a mai közúti közlekedési környezetben és elemezzük a teljesítmény növelés lehetőségeit. Ezt követi az épített vizsgáló rendszerre felszerelt alapmotor és a teljesítmény-növelt motor összehasonlító vizsgálatainak bemutatása és az eredmények értékelése. Dolgozatunk záró része azzal foglalkozik, hogyan hangolható össze a tuningolás a 168/2013/EU európai parlamenti és tanácsi rendelet elvárásaival, amely foglalkozik az emisszió-, zaj-, sebesség-és teljesítmény változás tekintetében támaszt követelményeket.

Kulcsszavak: motorkerékpár, kétütemű motor, tuning, közlekedési környezet-szennyezés, közlekedésbiztonság

1. BEVEZETÉS

A közúti közlekedésben résztvevő járművek egyre szigorodó előírásaival szemben a kétütemű motorok nehezen maradnak talpon. Kis közúti motorkerékpárok, például robogók hajtására is egyre elterjedtebben használnak négyütemű motorokat. Ezért ezeket olyan helyeken használják, ahol ezek a szigorú előírások nem érvényesek, vagy kevésbé szigorú előírások vannak hatályban. Ilyen területek lehetnek például a technikai, járműversenysportok [17].

Bizonyos további területeken viszont nem várható a kétütemű munkaciklussal működő belsőégésű

motorok visszaszorulása. Ezek a nem közúti alkalmazások, erdészeti, mezőgazdasági gépek hajtása, mint például a láncfűrészek, motoros fűkaszák, és még számtalan gépfajta, ahol az egyszerűség, kisebb méretek, és könnyebb súly figyelembe vétele tervezéskor szükségszerű. Bizonyos technológiák integrálása a kétütemű motorok körébe – mint például a befecskendezés, feltöltő rendszerek, részvezérlések helyett elektrohidraulikus szelepvezérlések – még piacéppessé, előírások szerint elfogadottá fejleszthetők bizonyos területeken [2].

Egy jármű, esetünkben egy motorkerékpár szempontjából megkülönböztethetünk külső, optikai módosításokat, melyek ugyan növelik jármű versenyképességét, de a környezetre és a közlekedés biztonságára nincsenek negatív hatással. Viszont vannak teljesítménynövelő módosítások is, melyek alkalmazása esetén a motor üzemi paraméterei: nyomaték, fordulatszám, teljesítmény növekszik, de ekkor figyelembe kell venni a növekedés más szerkezeti elemekre gyakorolt hatását pl. váz statikai kialakítása, féknyergek maximális terhelhetősége stb., a jármű kezelhetőségének megváltozását pl. súlypont, villaszög, valamint a környezetre való kihatását pl. a zaj és károsanyag-kibocsátás növekedést is [21].

Az említett – bármilyen – a gyáritól – azaz az ún. típusbizonyítványban foglaltaktól – eltérő változtatást követően a már forgalomba helyezett motorkerékpárt átalakítását engedélyeztetni kell, és a járművet újra műszaki vizsgára kell vinni, annak érdekében, hogy megvizsgálják, hogy az átalakítás után is megfelel a közúti forgalomba helyezés követelményeinek. Ez érvényes mind a közlekedés biztonsági, mind a környezetvédelmi jellemzőkre. Ez alól kivételt képeznek a közúti hatósági jelzés (rendszámtábla) nélküli segédmotor kerékpárok, ahol a regisztráltság, és így a folyamatos műszaki vizsga kötelezettség hiányát kihasználva a járműtulajdonosok módosításokat végezhetnek, végeztethetnek – jelenleg kontrollálatlanul. Itt kell azonban megjegyezni, hogy attól még jogszabályi szinten deklarálva van, hogy a segédmotoros kerékpár is típusvizsgálatára kötelezett [1].

1.1. Kétütemű motorkerékpárok a mai közúti közlekedési környezetben

Az egyre szigorodó Közösségi rendeletek, pl. [12] alapján a segédmotorkerékpár, mint motorkerékpár típus a közúti közlekedésben egyre jobban háttérbe szorul, s a motorgyártó cégek fejlesztése az off-road motorkerékpárok (motokrossz, enduro, trial stb.) felé orientálódik.

A motorkerékpárok és segédmotoros kerékpárok legnagyobb tervezési sebességéről, valamint a motor legnagyobb nyomatékáról és legnagyobb hasznos teljesítményéről szóló, Európai Parlamenti és Tanácsi Irányelv [18] lehetővé tette a tagállamoknak, hogy elutasítsák területükön a 74 kW-nál nagyobb hasznos teljesítményű motorkerékpárok első nyilvántartásba vételét, valamint az ezt követő nyilvántartásba vételüket. Több olyan tudományos tanulmány is van azonban, amelyek nem erősítik meg a biztonság és a teljesítménykorlátozás között feltételezett összefüggést. Ezért és az uniós piac belső kereskedelmi akadályainak eltávolítása érdekében nem szabad, hogy ez a lehetőség továbbra is fennmaradjon [12].

A 168/2013/EU rendelet [12] a két- vagy háromkerekű járművek és a négykerekű motorkerékpárok jóváhagyásáról és piacfelügyeletéről szóló újabb Rendelet, amely új biztonsági és környezetvédelmi követelményeket állít fel e típusú járművek jóváhagyásával kapcsolatosan. Hazánkban a két-, három- és négykerekű segédmotoros kerékpár (L1e, L2e és L6e járműkategória), a kétkerekű motorkerékpár (L3e járműkategória), az oldalkocsis motorkerékpár (L4e járműkategória), valamint a három- és négykerekű motoros tricikli (L5e és L7e járműkategória) járműkategóriába sorolásának műszaki feltételeit [1] tartalmazza.

A jelenleg érvényes Közösségi előírás szerint 2016 januárjától csak EURO 4, míg 2020-tól kizárólag az EURO 5 követelményrendszernek megfelelő típusú kétkerekűek helyezhetők forgalomba Európában. Az alapvetően verseny- és hobbicélú endurókra is érvényes ez a szigorítás, mivel a hagyományos motorkerékpárokhoz hasonlóan rendszámozható, közúton is használható modellekről van szó.

A Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján az utolsó 15 évben több, mint megduplázódott a motorkerékpárok száma Magyarországon. Ma a személygépkocsik és motorkerékpárok közös halmazából a motorkerékpárok 5%-ot tesznek ki, és elsőszeretettel használják nagyobb városokban (pl.: Budapesten) a könnyebb közlekedés végett [19].

1.2. Kétütemű motorok teljesítmény növelésének korlátai és lehetőségei

Kétütemű motorok legfontosabb előnye, hogy egy munkaciklus (körfolyamat), a motor 1 teljes fordulata alatt lezajlik, szemben a négyütemű motorokkal ahol ugyanaz 2 teljes fordulat alatt megy végbe. Ebből következik, hogy elvileg ugyanakkora hengerűrtartalmú motor esetében, a kétütemű közel dupla akkora teljesítményt ad le. További előnyeként lehet megfogalmazni, hogy egyszerű konstrukció, és javítása olcsó [4]. Azonban vannak hátrányai is a négyüteműekhez viszonyítva. A gázcserehez (öblítéshez) kb. 130 fok forgattyústengely-szög áll rendelkezésre (ez egyharmada a négyütemű motor gázcsereidejének). A rövidebb töltetsereidő nagyobb töltési veszteséggel jár, ezáltal a tüzelőanyag-fogyasztás nagyobb, mint a négyütemű motorok

esetében. Átöblítés során a kipufogónyíláson eltávozó, nem hasznosított tüzelőanyag következtében rosszabb a hatásfok, az emissziós értékek is nőnek. Az tüzelőanyag-levegő keverék tartalmazza a kenéshez szükséges olajat, melynek kisebb-nagyobb része szintén elég. Minden fordulatszám és terhelés tartományban azonos a kenést ellátó olaj mennyiségének aránya, ennek következtében általános felhasználás mellett, ahol nincs mindig csúcson járva a motor, az olaj nem ég el teljes mértékben, kéken füstöl, melynek következtében jelentősen nagyobb a motor HC kibocsátása [4].

A belső égésű motorok effektív (valós) teljesítményének meghatározására szolgáló összefüggés tartalmazza a motor összlökettérfogatát, a fordulatszámát, az effektív középnyomást és az ütemszámot, mint motorjellemzőket [5]. Utóbbival fordított arányosság áll fenn. Legnépszerűbb tuningolási eljárás a lökettérfogat növelése. Viszont az egyes hengerek térfogatát nem lehet, és nem is érdemes a végtelenségig növelni, mert számos problémába ütközhetünk. Egy példa erre, hogy ha a lökethosszt növelik, akkor a dugattyúnak ugyanakkora idő alatt nagyobb utat kell megtenni, így nő a dugattyú középsebessége, ami a henger-dugattyú egységek kopása, tehát a motor élettartama szempontjából releváns érték [5].

A motorok egyéni, garázs körülmények közötti teljesítmény növelésének lehetősége abból adódik, hogy a gyári motorokat többszörös biztonsági tényezőkkel tervezték, és méretezték. A vonatkozó szakirodalom szerint alapvetően 4 fő teljesítménynövelési lehetőség van: (i) növelni kell a hengerek töltését, a (ii) kompresszióviszonyt, a (iii) motor fordulatszámát és (iv) csökkenteni kell a motorban fellépő súrlódásokat [3]. Ezek elvégezhetőek egyenként, de hatékonyabb, ha ezek közül többet hajtanak végre.

Ha megvizsgáljuk a levegő útját a környezettől az égéstér felé haladva, a kiindulási pont a légszűrő/légszűrőház, melynek feladata a beszívott levegő mechanikai szűrése, esetenként temperálása és nyomásának megnövelése. A motor ebben a pontban szívja be az égéshez szükséges levegőt a környezetből. A levegő útja során, növelni lehet annak nyomását pl. turbófeltöltővel, vagy a jármű sebességétől függő torló nyomással [2].

A gyári légszűrő általában szivacs, vagy papírbetétes szűrő, melyen a porszemcsék szűréséhez a levegőt ezen keresztül kell szivnia a motornak. Ennek előnye a jó szűrési hatásfok. Hátránya, viszont az átszíváshoz tiszta szűrő esetében is nagyobb erőt kell kifejteni, nagy veszteség lép fel (szívási veszteség). Sportlégszűrők esetében a levegő kisebb ellenállásba ütközik, melyre többféle megoldást is kitaláltak, például fémszövetes hálón keresztül történik a szűrés. Előnye a kisebb ellenállás, veszteség, nagyobb teljesítmény. Nagy hátránya a megnövekedett szívási zaj, valamint tüzelőanyag-fogyasztás is.

A légszűrő után a következő elem a karburátor, mely a motor számára az optimális keveréket állítja elő

Ha növeljük a motor fordulatszámát, vagy hengerűrtartalmát, akkor ezzel arányosan növelni kell az tüzelőanyag-ellátást is. Tehát meg kell növelni a karburátor be és kimeneteni átmérőjét (vagy felteszünk egy nagyobb porlasztót, vagy anyagvastagságtól és lehetőségektől függően nagyobb méretre reszeljük, marjuk), valamint a többlet tüzelőanyag miatt a fűvókák átmérőjét. Ha lehetőség van karburátor cserére, akkor olyan típust érdemes választani, melyben van ún. Power Jet fűvóka. Ez egy teljesen különálló fűvóka, mely közvetlenül az úszóházzal van összeköttetésben, és a légtorok tetején helyezkedik el. Közel teljes gázállásig a karburátor a megszokott módon viselkedik, teljes gázon viszont akkora lesz az áramlási sebesség, hogy a Power Jet-en keresztül a vákuum plussz benzint tud felszívni a porlasztó tetejére így dúsabb keveréket képez [6].

A pontos olajadagoláshoz létrehozták a különolajzású motorokat, ahol a porlasztóban egy külön nyíláson a keverékhez még hozzáadódik az olaj is, ezzel biztosítva az optimális kenést, emellett kedvezőbb emissziós értékek kaphatóak. A szükségesnél több olaj nem csak környezetszennyezőbb, hanem befolyásolja a menet-teljesítményt is, mert az olaj rontja a tökéletes égést, kokszosítja az alkatrészeket [6].

Következő elem a hengert és a karburátort összekötő cső. Rögzítésen kívül fő szerepe, hogy a működés következtében felhevült henger hőjét elszeparálja a porlasztótól. Ezt sok esetben egy bakelit darab közbeiktatásával oldják meg. A cső belső felületét érdemes felpolírozni, mellyel a gázáram súrlódását lehet csökkenteni. Valamint az elhelyezését illetően úgy kell eljárni, hogy a forgattyús tér szívási vonalával a lehető legkisebb legyen a bezárt szöge, hogy a szívócsőben a gáz áramlása az egyenest közelítse. Külön a szívócsonk hosszát nem érdemes változtatni, mert a szívórendszer teljes hossza a mérvadó a gázok lengését illetően. Ez azért fontos, mert a nagy sebességgel érkező gázok a kanyarulatokat nem képesek lamináris áramlással követni, leválások keletkeznek, a hasznos áramlási keresztmetszet lecsökken [3].

Ami a forgattyúházat illeti, több teljesítménynyereségi lehetőség is adódik annak szerkezeti elemeire vonatkozóan. Magában a házban a legkézenfekvőbb módosítás, hogy a karter térfogatát a lehetőségekhez mérten csökkentik. Általában ezen típusú motoroknál, a forgattyús térben van elhelyezve a lendítőkerék. Ilyenkor a forgattyúházhoz egy egyedileg gyártott térfogat kitöltő gyűrűt csavarozhatnak. A forgattyúház térfogatát azért célszerű csökkenteni, mert a nagyobb vákuum több keveréket szív be, másrészt mert a lefelé haladó dugattyú a nagyobb volumenű beszívott keveréken nagyobb mértékű elősűrítést tud létrehozni. A minél jobb felületi minőség kialakítása itt is kedvező hatással van a gázsúrlódás csökkentésére. A jobb minőségű

szimeringek tömítőéle teflonnal, vagy más egyéb, nagyon jó siklási tulajdonságokkal bíró anyaggal van bevonva. Ez azért is fontos, mert kisebb lesz a súrlódási együttható a főtengely és a szimering között, így kisebb a súrlódási veszteség, valamint a keletkező hő nagysága [9].

A forgattyús mechanizmus tömegelő, és a súrlódási veszteségek a fordulatszám függvényében négyzetesen nőnek, ezért nem mindig célszerű megoldás a fordulatszám növelése, viszont ez az egyik legnagyobb teljesítmény nyeresi lehetőség. E pontban ellentmondás merül fel, amelyet fel kell oldani. Ahhoz, hogy a fordulatszámot növelhessük, vele arányosan a mozgó tömegeket csökkenteni, kiegyensúlyozni és optimalizálni kell. Alternáló erőket csökkenteni lehet például a dugattyú csapszegek tömegének csökkentésével (nagyobb szilárdságú, kisebb falvastagságú, kisebb tömegűre cserélés) a dugattyú alsó (szoknya) részének csökkentésével, valamint a hajtórúdak bizonyos keresztmetszeteinek csökkentésével, és a hajtórúd felületi minőségének javításával. Nagyon fontos a motor kiegyensúlyozottsága, különben rezonancia és ebből kifolyólag korai elhasználódás keletkezhet. Ha az egyenes vonalú mozgást végző alkatrészek tömegét csökkentettük, akkor az egyensúlyban maradáshoz a forgó tömegeket is csökkenteni kell. A hajtórúd könnyítést már az alternálónál elvégeztük, viszont a forgó súlyokban kétharmad részt tesz ki, emellett jó lehetőséget nyújt a lendítőkerék könnyítése, melyre több lehetőség is van [7].

A súrlódási együttható csökkentésére jó minőségű alkatrészeket, és kenőolajat kell használni! A hagyományos acél golyócsapágyak kiváltására szolgáló kerémia golyócsapágyakkal kísérletezések folynak, melynek számos előnye van. A jövőben ez lehetőséget biztosít a csapágyak „tuningolására” is. [3, 8].

Ha a hengerfejben, kipufogó csatornában, és csőben lévő lehetőségeket elemezzük, lehetőség nyílik a kompresszióviszony növelésére. Ezáltal nagyobb lesz a sűrítési végnyomás, mellyel nagyobb hasznos munka nyerhető, valamint kevesebb égéstermék marad vissza az öblítést követően. Ezekon kívül az égést is kedvezően befolyásolja, viszont figyelni kell az öngyulladás és a kopogásos égés elkerülésére. Több megoldás is van az égéstér csökkentésére [3]. Átlagos kétütemű motorkerékpár motorok kompresszióviszonya 1:8 – 1:10 [4]. Versenymotoroknál ez az arány akár 15:1 is lehet, de volt rá példa, ahol akár 20:1 is előfordult. Ez már megközelíti a diesel motorok kompresszió viszonyát. Az égéstermék ezen keresztül távozik a hengerből a kipufogóba. Ha növelik a csatornák szélességét, akkor a közép és maximális fordulatszám tartományban érhető el teljesítmény növekedés. Ha a kipufogóablak magasságát is van lehetőség növelni, akkor még nagyobb teljesítmény-növekedés realizálható, de ebben az esetben a teljesítménysáv szélességének csökkenésével kell számolni. A magasság beállításával, azaz nyitás/zárás vezérlésének ideje, tehát a főtengelyfok, mindig attól függ, hogy milyen üzemi fordulatszámot szeretnénk kapni [11].

A felsorolt módosításoknak a fejezet elején már említett, gyárilag túlméretezett, nagy biztonsági tényezővel való tervezés nyit szabad utat. Fontos megjegyezni, hogy természetesen a teljesítménynövelés a motor élettartamát csökkentheti, valamint a környezetre gyakorolt káros hatásokat (levegőszennyezés és zajkibocsátás) növelheti.

1.3. Egy motorkerékpár motor teljesítmény növelésének összehangolási lehetőségei az európai Parlament és Tanács Rendeleteivel

Az Európai Parlament 168/2013/EU Rendelete, alapján a járműgyártó cégek újabb kihívás elé néznek a környezeti teljesítményre vonatkozó követelmények szigorodásának tekintetében [12]. Az ENSZ-EGB 40. számú Előírás 6. bekezdése alapján: „A járműtípus bármiféle módosítását be kell jelenteni ahhoz a hatósághoz, amely a jármű típusát jóváhagyta.” A garázs vagy műhely körülmények közötti motorikus tuningolást szemmel, nehezíteni fogja a 168/2013/EU Rendelet, III. fejezet, 21. cikke alapján az OBD I-II. fázisú felügyeleti rendszer kötelezővé tétele az új motorkerékpárok esetében [12].

Az említett típusjóváahagyáshoz, és műszaki vizsga megfelelésségéhez többek között szükség az emisszió (károsanyag kibocsátás) mérésére is. A pontos vizsgálati leírásokat az ENSZ-EGB 40. számú előírás 5. bekezdése tartalmazza [20].

A légszennyező károsanyag-kibocsátás vizsgálata mellett, a motorkerékpár gyártás másik legnagyobb feladata, hogy az egyre szigorodó előírásokat tartani tudják mind az állóhelyzeti, közeltéri, mind pedig elhaladási zaj-kibocsátás tekintetében. Járművek esetében három féle zajforrást különböztetünk meg, ezek a következők: (i) mechanikai, (ii) szívási (gázáramlás) és (iii) kipufogási (gázáramlás) zaj [13]. Zajkibocsátást többféle módon lehet mérni. Az ENSZ-EGB 41. számú Előírás, 3. melléklete [22] alapján megkülönböztetünk: (i) mozgó motorkerékpár zajának a mérését, (ii) álló motorkerékpár által kibocsátott zaj mérését és (iii) mozgásban lévő motorkerékpár által keltett zaj mérését.

Ami a teljesítménynövekedéssel elérhető sebesség és teljesítmény változást illeti, a motorkerékpárokat több szempontból is besorolhatók a bizonyos járműkategóriákba: (i) hengerűrtartalom, (ii) leadott teljesítmény, (iii) végsebesség és (iv) kivitel. A járműkategóriákat az 168/2013/EU Rendelet, I. fejezet, 4. cikke tartalmazza

[12]. Műszaki vizsgálataink tárgyát képező motorkerékpár, [14] alapján az A1 kategóriába sorolható, amely a következő jellemzőkkel bír: hengerűrtartalom $\leq 125 \text{ cm}^3$, hasznos teljesítmény $\leq 11 \text{ kW}$, és a motor teljesítmény-jármű tömeg arány $\leq 0,1 \text{ kW/kg}$.

Ezeket az értékeket is a 1.2 alfejezetben tárgyalt jármű-szerkezeti módosításokkal át lehet lépni, így az A1 kategóriából, sőt, akár Moped kategóriából is lehet A2-es kategóriájú (hasznos teljesítmény $\leq 35 \text{ kW}$, teljesítmény-tömegarány $\leq 0,2 \text{ kW/kg}$) motorkerékpárt készíteni [14].

2 A VIZSGÁLT MOTORKERÉKPÁR

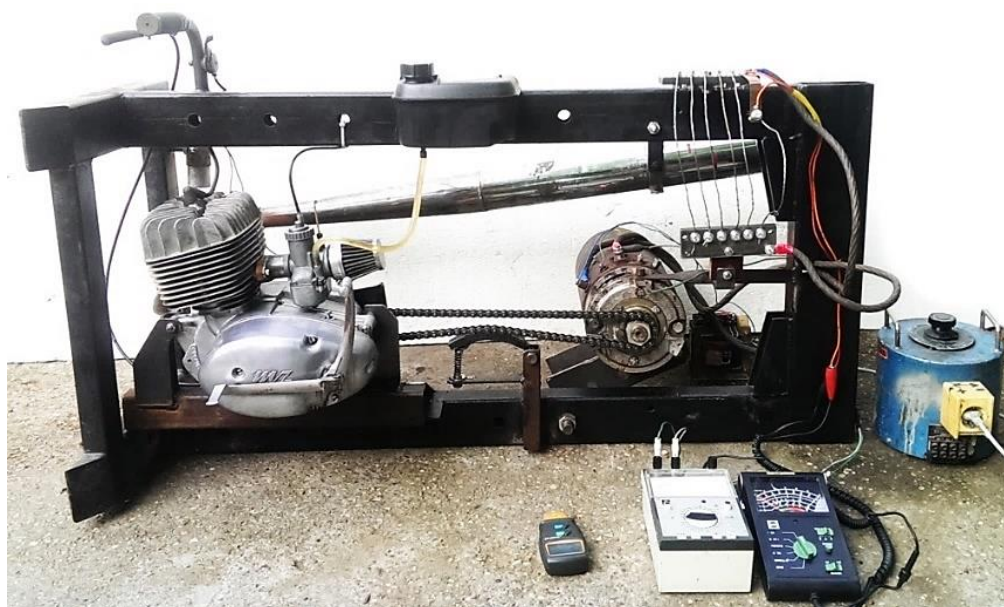
A vizsgálataink tárgyát képező motorkerékpár legfontosabb műszaki adatait az 1. táblázat mutatja. Ezen tulajdonságokkal bíró motor, [14] alapján még A1 kategóriájú jogosítvánnyal vezethető gépjármű. Az általunk vizsgált motorkerékpár hatósági jelzéssel rendelkezik, heti szinten használatban van.

1. táblázat A vizsgált motorkerékpár legfontosabb műszaki adatai [15]

Első forgalomba helyezés	1975
Kereskedelmi	MZ ES
Lökettérfogat [cm^3]	123
Teljesítmény [kW] / fordulatszám [1/min]	7,35 / 6000 ÷ 6300
Tüzelőanyag-olaj	1:33
Tüzelőanyag oktánszám	88
Keverőtörök átmérő	22
Főfűvőka átmérő [mm]	0,90

3. A MÉRŐRENDSZER ÉS A VIZSGÁLATI ELJÁRÁS BEMUTATÁSA

A motor teljesítményének vizsgálatához kiszerelt motorú (motorfékpad) elrendezést választottunk. Ehhez saját berendezést (motorfékpadot) építettünk, amelyet az 1. ábra mutat.



1. ábra Saját építésű motorfékpad [saját felvétel]

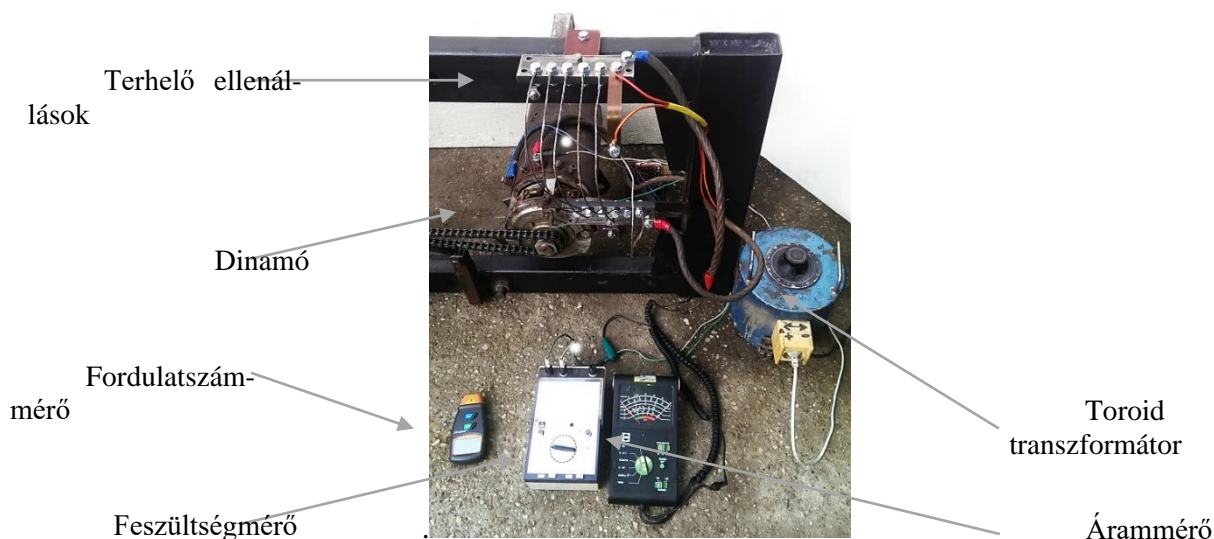
A mérőrendszer felépítése a következő: a vázhoz rögzített motorblokk lánchajtás segítségével hajtja a BELAZ típusú egyenáramú dinamót, amely maximum 24 V feszültség mellett maximálisan 150 amper áramot képes előállítani fordulatszám és gerjesztés függvényében. A konstans mágneses mező biztosítása végett külső gerjesztést alkalmaztunk, melynek értékét egy toroid transzformátorra kötött, egyenirányítóval ellátott 24 V-os transzformátor látott el. Ahhoz, hogy villamosteljesítményt lehessen mérni, úgynevezett műterheléssel

kellett a készüléket terhelni. Ezt 6 darab, egymással egyenlő értékű, terhelő-ellenállás biztosította, mely a dinamó kivezetéseire sorba (az ellenállások egymással párhuzamosak) volt kötve (2. ábra). Ezek közül az egyikre áramerősség mérőt, s a dinamó kivezetéseire feszültségmérőt kapcsolva, megmérhető a két paraméter, amelynek segítségével a villamos teljesítmény számítható [16].

A dinamón és a motorblokkon kívül, a terhelő ellenállások is – egy bakelit lap segítségével – a vázhoz lettek erősítve. Valamint a motor működéséhez elengedhetetlen gáz,- és kuplungkart, gyújtótrafót, láncfeszítőt, gyári kipufogót és benzintankot is fel kellett szerelni a vizsgálatok elvégzéséhez. A fordulatszámmerést az alábbi módon végeztük el: a főtengely, gyújtás felőli oldalán a védő burkolatot leszerelve, a vezérlő bütyköt tartó csavar alá egy vékony bakelit tárcsát helyeztünk el. Ennek egyik sugarán egy fehér, fényvisszaverő papírcsíkot ragasztottunk. Erre azért volt szükség, mert az alkalmazott fordulatszámérő egy lézeres fordulatszámérő volt. A paraméterek méréséhez használt készülékek a következők voltak: (i) Fordulatszám mérő: Digital Tachometer DT-2234C+, (ii) Feszültségmérés: Ganzuniv 1, (iii) Áramerősség mérés: Hella Optilux többfunkciós készülék.

A motor beindítását követően 1-es sebességi fokozatba kapcsolással, állandó gerjesztés (terhelés) mellett, gázkar állás változtatással növeltük a motor fordulatszámát az alapjárat fordulatától a motor maximális fordulatszámaig. A dinamón megjelenő villamos teljesítmény paraméter volt az összehasonlítás alapja. Igaz, ez villamos teljesítmény, de amennyiben mérhető egy bizonyos százalékos növekedés, úgy feltételezhető, hogy nőtt a motor teljesítménye is, tehát az előző fejezetekben leírtak alátámasztottak lesznek. A motor által leadott mechanikus teljesítmény minden esetben ugyanazzal a módszertannal lehetne visszaszámolható, figyelembe véve a láncajtás veszteségteljesítményét. Ennek kimérésével, kiszámításával jelen vizsgálat sorozat keretében nem foglalkoztunk. Először a gyári állapotú motorblokkon egy referenciamérést hajtottunk végre, hogy később, minden módosítást követően ugyanazon elv alapján mérhető legyen a teljesítményváltozás. Minden mérést 3-szor végeztem el, minden fordulatszámon, majd az így kapott eredményt átlagoltam. Erre azért volt szükség, hogy az egyenetlen járásból, mely a kívánt fordulatszám ± 50 ford/min-es eltéréseiből adódó mérési hibát csökkenteni lehessen.

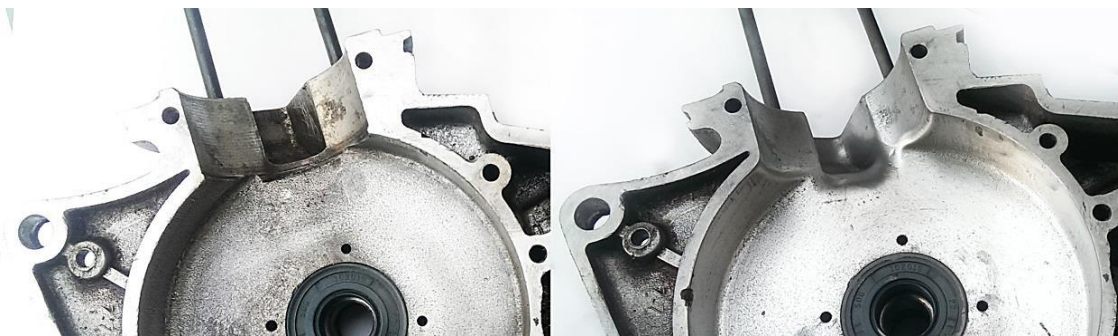
A motor által kibocsátott légszennyező károsanyagok és a zaj mérését nem motorfékpadra, hanem szerelői műhely körülmények között végeztettük el a motorblokkon történő bármely módosítást megelőzően és az összes módosítás elvégzését követően. Ez azt jelenti, hogy ekkor a motor a motorkerékpárra még illetve már fel volt szerelve. Ez a szerelő műhely egy az NKH által akkraditált, hivatalos autószerelő műhely volt. Ez azt jelenti, hogy a motorkerékpáron műhely körülmények közötti időszakos műszaki megvizsgálás szintű méréseket végeztek el. A mérőkészülékek következők voltak: (i) gázelemző: Brain Bee AGS-200 és (ii) zajszintmérő: Beijing ADD SZTT35850. Ezek a készülékek, a mérések megtörténtekor érvényes kalibrálási és hitelesítés bizonyítványokkal rendelkeztek.



2. ábra A terhelő és mérő eszközök [saját felvétel]

4. A KÉTÜTEMŰ MOTORON ELVÉGZETT VÁLTOZTATÁSOK

Első lépésként a forgattyús téren végeztünk el módosításokat. Erről látható két felvétel (előtte-utána) a 3. ábrán.



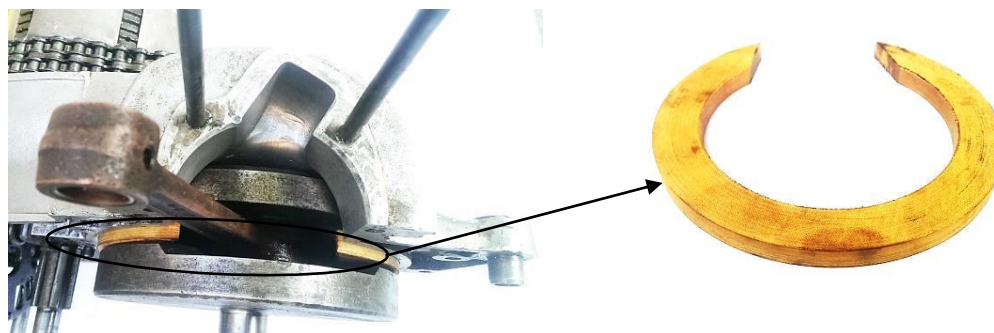
3. ábra A gyári (bal), és a módosított (jobb) forgattyús tér [saját felvétel]

Az áramlási viszonyok javítása érdekében a karter alumínium házát finom csiszoló papírral kis felületű érdességűre dolgoztuk. A turbulens áramlás kialakulási lehetőségét csökkentendő, a gyárilag megtalálható éles sarkokat lekerekítettük, mivel így a gázok nagy sebességű és nyomású áramlásuk közben nem ütköznek éles sarkokban, és irányuk az egyeneshez közelít. Ezt követően a hengerpersely alsó felömlő nyílását szélesítettük, ezzel nagyobb keresztmetszetet biztosítva az átömlésnek (4. ábra). Ezzel a kartertől a hengerpalástig egy szűkülő járat került létrehozásra, mellyel a gázok áramlási sebességét volt cél növelni.



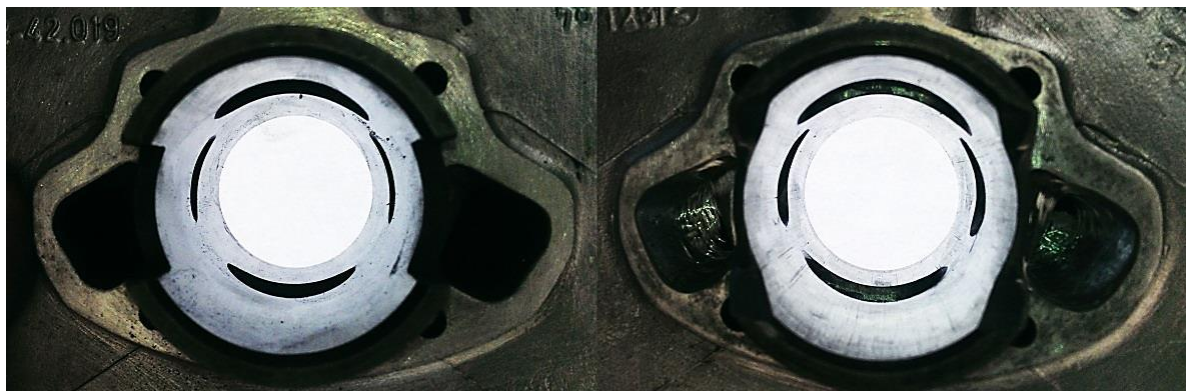
4. ábra A gyári (bal), valamint módosított (jobb) hengerpersely [saját felvétel]

A forgattyús tér legszámottevőbb módosítása maga a térfogat szűkítése, melyet egy házilag, bakelitből készített gyűrűvel oldottunk meg (5. ábra), melyet 4 darab csavarral rögzítettünk a motorblokkhoz.



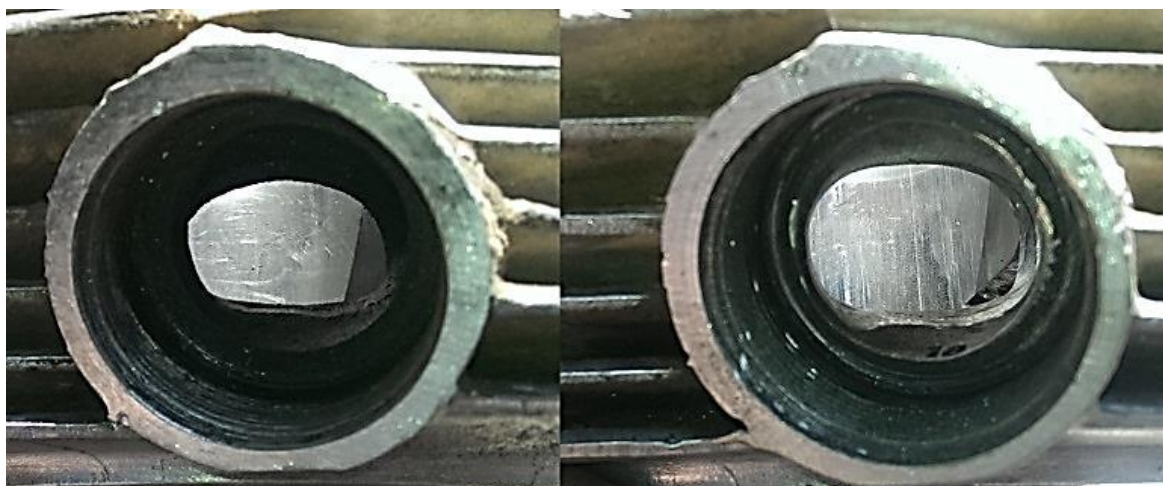
5. ábra A szűkített forgattyúház térfogat (bal) és maga a szűkítő gyűrű (jobb) [saját felvétel]

Ezen gyűrűt a főtengely ellentömegek közé méreteztük, és szereltük, melynek külső átmérője: 139 mm, belső átmérője: 103 mm, szélessége pedig: 8,8 mm. Külső átmérője a forgattyús tér átmérőjéhez lett igazítva, belső átmérőjének pedig a köríven forgó csapszeg szabott gátat. Figyelni kellett arra, hogy a hajtókar oldalirányú elmozdulása közben ne érjen a gyűrűhöz. A karter térfogatát ezáltal 49,32 cm³-rel sikerült leszűkíteni. Ezzel növelni tudtuk a dugattyú alsó holtpont irányú mozgásának következtében, a forgattyús térben létrejövő kompresszió (elősűrités) nagyságát, melynek következtében a gázok dugattyú fölé áramlásának sebessége nagymértékben növelhető. A dugattyú felső holtpont felé közelítése közben pedig nagyobb dekompresszió keletkezik, így több tüzelőanyagot szív be egységnyi idő alatt. Ez volt az első számú változtatást. Ennek hatása a motor teljesítményre, a fent leírt módon került lemérésre. Az áramlást követve a következő módosítási elem a henger, azon belül a felömlők, beömlő és kipufogó nyílások voltak. Ennek eredményét lehet látni a 6. ábrán.



6. ábra A gyári (bal), és a módosított (jobb) nyílások [saját felvétel]

A ábrán látható, hogy a felömlő csatornák keresztmetszete, valamint a hengerpersely paláston a csatornák nyílásai is szélesítve lettek, ezáltal biztosítva lett a henger gyorsabb, és nagyobb mértékű öblítése, így a fordulatszám növekedett. A beömlő nyílás keresztmetszetét azért kellett növelni, mert az emelkedett fordulatszám következtében több tüzelőanyag beáramlására van szükség. Szintén a fordulatszám növekedés több égéstermék, azaz kipufogógáz keletkezését okozza, így gondoskodni kell annak szabadabb áramlásáról, tehát növeltük a nyílás keresztmetszetét (7. ábra).



7. ábra A gyári (bal), és a módosított (jobb) kipufogó nyílás [saját felvétel]

A kipufogó nyílás szélessége növelésének a dugattyúgyűrűk összeeresztései szabnak határt. Figyelni kellett arra, hogy a két gyűrű biztosító stiftje közötti távolságnál jobbról-balról 1-1 mm-t elhagyva lehet maximum a nyílás szélessége. A nyílás magasságát az égéster felé növeltük, ezzel nagyobb teljesítmény várható közép,- és felső fordulatszám tarományában.

A legjelentősebb módosítás a kompresszió tér szűkítése volt. A módosítás értékét a préréssáv határozta meg. Gyárilag 1,4 mm volt mérhető a dugattyútető és az égéstér között, melyet a gyújtógyertya furatán keresztül bedugott ón rúddal, melyet a dugattyú lassú felfelé mozgásával, majd a rúd összepréselésével, és ennek mikrométerrel való lemérésével került meghatározásra [10]. A hengerfejet, egy a hazai szakirodalmi folyóiratban található táblázat alapján 0,9 mm préréssávig esztergáltuk [10].



8. ábra A gyári (bal), és a módosított (jobb) hengerfej [saját felvétel]

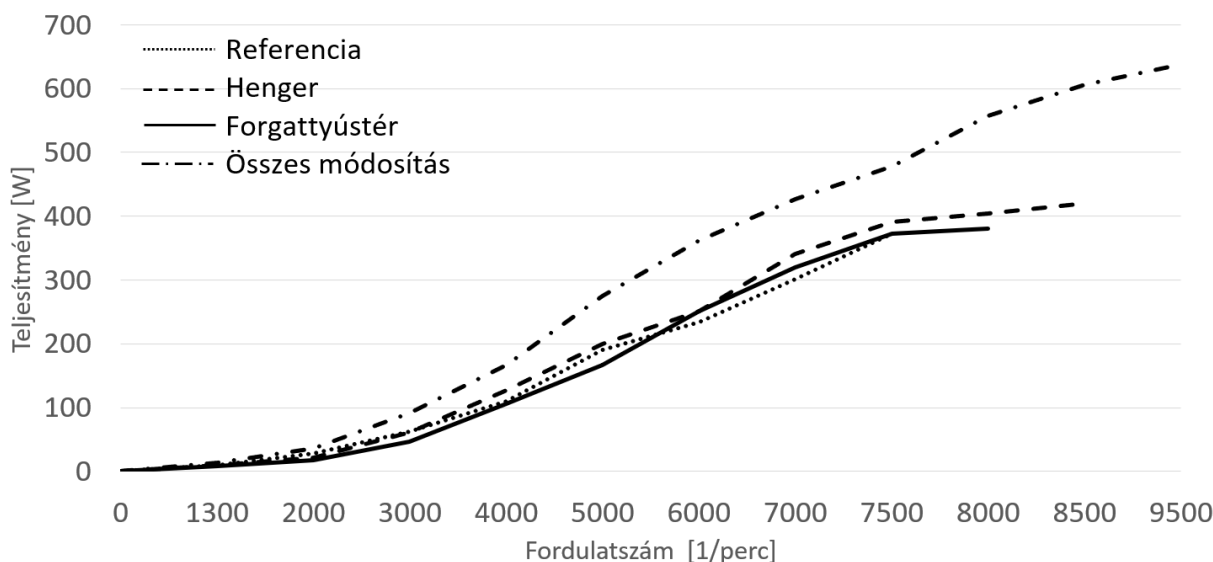
Ezáltal a gyárilag 15 cm³-es sűrítő tér 9 cm³-re szűkült, valamint a sűrítési végnyomás Optilux Compression Tester készülék segítségével mérhető volt, hogy a nyomás 9 barról 12 bár-ra növekedett. Ha kiszámítjuk a henger térfogatát, valamint a kapott kompressziós térfogat alapján meghatározható a kompressziós viszony értéke. A gyári 9,2:1 kompresszió viszony 14,7:1-re növekedett, amely egy versenymotor értékéhez közelít. Normál, 95-ös oktánszámú tüzelőanyag használata esetén kopogásos égés következett be a magasabb sűrítési arány miatt, így 100-as oktánszámú üzemanyagra váltottunk, melynek következtében a jelenség megszűnt. A fordulatszám, és teljesítmény növekedésével a motor hőmérséklete is növekedett, így kisebb hőértékű gyújtógyertyára kellett cserélni az eredetit. A motor saját hűtési teljesítményét nem volt lehetőségünk a meg-növekedett hőmérsékleti viszonyokhoz áttervezni, ezért a vizsgálatok során a teljesítmény mérések alkalmával kiegészítő ventilátort alkalmaztunk.

Az előgyújtást, és a porlasztóban végbemenő keverékképzést a módosításokat követően mindig optimalizálni kellett. A leírt változtatásokat követően a motor nem jutott elég tüzelőanyaghoz, és a fordulatszám növelésének nagymértékben határt szab, így a gyári 22 mm átmérőjű keverőtorkú porlasztót, egy MZ ES 250/2-es típusú, 28 mm átmérőjűre cseréltük, ezzel biztosítva a megfelelő tüzelőanyag ellátást. Illetve a gyári légszűrő helyett egy sportlégszűrőt is alkalmaztunk. A leírt változtatásokkal nagymértékben megnövekedett a motor maximális üresjáratú fordulatszáma, emiatt szükséges volt a mechanikus gyújtásmegszakító rugóját egy erősebb kivitelűre cserélni.

5. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELES

5.1. Motor teljesítmény

A vizsgálat sorozatot 4 fő részre osztottuk szét, amelyek a következők: az első a referenciamérés vagy alaplérés, melyhez a későbbiekben viszonyítani lehet a forgattyús tér, a henger, valamint a hengerfej módosításait. A méréseket a motor teljes fordulatszám tartományán végeztük el, 1000 1/perc lépésközökkel. A méréseket minden fordulatszámon 3-szor végeztük el, majd a kapott feszültség és áramerősség értékeket átlagoltuk. Az áramerősséget a műszer mérési tartománya miatt csak egy darab terhelő ellenálláson lehetett mérni, így ennek értékét, meg kellett szorozni a terhelő ellenállások számával, mivel az villamos ellenállások értéke azonos. A kapott áram értéket megszorozva az aktuális kapcsolófeszültséggel meghatározható a villamos terhelő ellenállás értéke. Az eredmények a 9. ábrán láthatóak.



9. ábra A kétütemű motor által leadott teljesítmény a különböző teljesítmény növelő hatásokkal [saját szerkesztés]

A pontozott vonal jelzi a referencia méréssel kapott teljesítményt. Megfigyelhető, hogy a folytonos vonal teljesítmény görbe, melyet a forgattyúház módosításai következtében kaptunk, leginkább a teljesítmény görbe karakterisztikáját befolyásolta. Észrevehető még, hogy az alapmotornál maximális 7500 1/perc fordulatszám helyett 8000 1/perc-ig lehetett mérni, így maximális fordulaton kicsivel nagyobb teljesítmény volt nyerhető, de körülbelül 5500 1/perc fordulat alatt a motor ezekkel a változtatásokkal gyengébbnek bizonyult az eredetihez képest. Ehhez még a henger módosításának hatásai következtében a szaggatott vonal terhelés alatt még 500 1/perc-el nőtt fordulatszám, és a teljesítmény is, az alpméréshez képest 12,6 %-kal növekedett. Az utolsó mérést követően (pontvonal), mely magában foglalja a kompressziós tér szűkítését, a gyertya cserét, a magasabb oktánszámú motorbenzin használatát, valamint a sportlégzsűrő és karburátor cserét is, látható a jelentős mértékben megnövekedett teljesítmény a teljes fordulatszám tartományban. A megfelelő beállítások következtében a maximális üresjárat fordulatok száma a gyári 8800 1/perc-ről 10700 1/perc-re nőtt. A referencia mérés csúcsteljesítményéhez (372,5 W) képest, mely 7500 1/perc fordulaton volt elérhető, a tuningolást követően a legmagasabb mért teljesítmény 638 W volt 9500 1/perc fordulatszámon, mely összesen 71%-os teljesítménynövekedést jelent. Ezen a fordulaton a motor már sokkal több égéstermékot termel, mint a gyári paraméterekkel bíró, így szükséges lenne egy egyedi, vagy sportkipufogót is felszerelni a gyári helyett, mert ezzel tovább növelhető még a teljesítmény. Ha ezt a növekedési arányt, a gyári adatokhoz hasonlítjuk, mely szerint az MZ TS 125 típusú motorkerékpár 7,35 kW teljesítményű, akkor a tuningolt megközelítőleg 12,6 kW-ot tesz ki. Ez azt jelenti, hogy a gyárit vezethetjük A1 kategóriájú jogosítvánnyal, míg 11 kW felett már A2-es kategóriájú jogosítványra van szükség.

5.2. Károsanyag- és zajkibocsátás

Míg motorteljesítmény mérést minden egyes végrehajtott konstrukciós változtatás után végeztünk, addig, károsanyag-kibocsátás és zaj-kibocsátás vizsgálatokat csak az alpmotorral és a véglegesen, minden teljesítménynövelő változtatást tartalmazó motorral felszerelt járművön végeztünk. A károsanyag-kibocsátás vizsgálatának eredményeit a 2. táblázat foglalja össze. A vizsgált két motorüzemi ponthoz tartozó fordulatszám, motorolajhőmérséklet és légviszony-tényező értékeit próbáltuk a lehető legközelebb beállítani egymáshoz az alpmérés és a hatásvizsgálat esetében. Erre azért van szükség, hogy e tényezőkben való eltérés ne befolyásolja a károsanyag-kibocsátás eredményét, hanem csak az eszközölt konstrukciós változtatások által indikált eredményt mérhessük. A hőmérséklet és fordulatszám paramétereket sikerül szűk tartományon belül tartani, de a lég-viszonytényező (λ) értéke nagyobb mértékben csökkent, a teljesítmény-növelés érdekében használt nagyobb karburátor és főfúvóka, és az ezekkel beállított tüzelőanyagban dúsabb keverék miatt. Ez látszik a motor által kibocsátott CO értékeken is, mivel CO kibocsátás elsősorban a légfelesleg-tényezőtől függ. Az el nem égett szén-hidrogén kibocsátás eredményekkel kapcsolatban összefoglalóan a következőket állapítjuk meg: A nem megfelelő tüzelőanyag-olaj keverék használatának következtében a kipufogóban olaj, és kokszt lerakódás feltételezhető, mert a mérés következtében magas CH kibocsátás volt mérhető az alpmotoron. A tuningolás alapja, hogy csak tökéletes műszaki állapotú motorok módosíthatók eredményesen,

ennek következtében a kipufogóból az olaj eltávolításra került, így a szénhidrogén kibocsátás már ennek köszönhetően is, nagymértékben csökkent.

2. táblázat Az emisszió mérés eredményei [saját szerkesztés]

Mért paraméter	Alapjárat fordulatszám		Emelt üresjárat fordulatszám	
	Alapmotor	Megnövelt teljesítményű motor	Alapmotor	Megnövelt teljesítményű motor
Motorolaj hőmérséklete [°C]	80	79	94	99
Fordulatszám [1/perc]	870	890	2180	2140
Lambda [-]	1,169	1,148	1,042	1,011
CO-kibocsátás [V/V %]	2,88	3,14	5,11	6,08
HC-kibocsátás [V/V ppm]	4740	2090	6710	3730

A zajkibocsátás esetében, az eredmény a feltételezettek szerint alakult. Vagyis a zajemisszió a megnövelt teljesítményű motor esetében megnövekedett, az alapmotor zajkibocsátásához képest. Ami a konkrét értékeket illeti az eredeti motorral felszerelt motorkerékpár zajkibocsátása a jármű álló helyzetében, a motort a maximális fordulatszámán járattva 98,8 dB értékű volt. A teljesítmény-növelt motor esetében a motorkerékpár zajkibocsátása az előzőekkel megegyező módon mérve 108,3 dB volt. Utóbbi érték meghaladja a közúti forgalomban tartás követelményeiben megfogalmazott 100 dB-es értéket [1].

6. KÖVETKEZTETÉSEK

Tanulmányunkban kétütemű motorral hajtott motorkerékpárral foglalkoztunk. Elemeztük a helyzetüket a ma érvényben lévő jogszabályrendszerben és bemutattuk a szakirodalomban található teljesítménynövelő lehetőségeket. Egy kiválasztott motorkerékpár kétütemű motorján teljesítménynövelő szerkezeti átalakításokat végeztünk, amelynek mérésére saját mérőrendszert építettünk. A teljesítmény növelés járulékos hatásait, úgy mint károsanyag-kibocsátás és zaj kibocsátás változás értékeléséhez a teljes motorkerékpáron végeztünk vizsgálatokat akkreditált műhelykörülmények között. A gyakorlati eredmények a következőkkel foglalhatók össze:

- a forgattyús házon elvégzett változtatások a teljesítmény karakterisztikát kismértékben megváltoztatták és kismértékű maximális fordulatszám növelő hatásuk volt.
- a hengeren eszközölt változtatások eredményei a motor teljesítményét a teljes fordulatszám tartományban megnövelték az eredeti motorhoz képest.
- A legnagyobb mértékű teljesítménynövelő hatása a hengerfej, kompresszióviszony, és karburátor átalakításoknak volt. Ezek hatására a motor teljesítményét közel a kétszeresére lehetett megnövelni, amellyel, hogy a maximális fordulatszáma is jelentősen megnövekedett. Ezzel a motor egy olyan teljesítménykategóriába került, hogy az ezzel a motorral hajtott motorkerékpár közúti forgalomban való vezetéséhez már egy másik kategóriájú jogosítvány szükséges.
- A motor CO kibocsátása dúsítás miatt megnőtt, míg a HC a kipufogó rendszer tisztítása következtében lecsökkent. A motorkerékpár zajkibocsátása jelentősen emelkedett.

Az összefoglalt teljesítmény változtatások további változtatási igényeket vonnak maguk után, amelyeket érdemes elvégezni ahhoz, hogy a motor és a jármű hosszútávon károsodás nélkül üzemeljenek, a közúti forgalomban tartás műszaki feltételeinek való megfelelés mellett.

6.1. További lehetséges célok

- A forgattyúház szűkítése nagyobb elősűrítési nyomást okoz, így például a tömítő szimeringek nagyobb igénybevételnek lesznek kitéve. A megnövelt kompressziós viszony, növeli az égési csúcsnyomást, mely által már említettem, hogy az égési hő is növekedni fog. Ha a hőmérséklet növekszik, akkor annak elvezetésére szolgáló hűtési módot is optimalizálni kell. Például egy vízhűtéses motor esetében, nem elég

csupán nagyobb hűtőradiátort felszerelni, hanem a hűtő közeg keringtetésére szolgáló vízpumpa térfogatáramát is növelni kell, valamint a henger körüli folyadékteret. Látható, hogy ez által számos problémába kerülhetünk. Ha a hűtés viszont nem kielégítő, akkor a dugattyú megragadhatnak, melynek veszélyeit, és káros hatásait már részleteztem

- Tuningolás során nem csak a teljesítményváltozásra, az emisszió, és zajszint növekedésére kell gondolni, hanem más szerkezeti elemekre gyakorolt hatására is. A megnövekedett teljesítmény által a motorblokk felfogatási pontjain, valamint a hajtásláncon keresztül nagyobb igénybevétel keletkezik a vázszerkezeten és a kerekeken egyaránt. Ha a rögzítési pontok nem elég szilárdak, akkor azokat is célszerű módosítani, mert kifáradás hatására a hegesztések eltörhetnek, ezzel balesetet okozva.

- Fékezés következtében a nagyobb sebesség hatására megnövekedett mozgási energiát felemészítő gyári fékberendezés nem feltétlenül elegendő. A fékezéskor keletkező súrlódási hő minden esetben növekszik. Ha a fékezés intenzitásának értékén nem változtatunk, akkor az igénybevétel tovább tart, melynek hatására például tárcsaféknél a fékpofák és a féktárcsa között fellépő súrlódási hő megnő. Így első teendő, hogy magasabb hőértékű fékfolyadékot kell alkalmazni, mert ha túlmelegszik az folyadék, akkor a fékhatás romlik. Ajánlatos viszont az egész fékberendezést nagyobb teljesítményűre cserélni, a biztonságos közlekedés érdekében.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A szerzők rendkívül hálásak Molnár László címzetes egyetemi docens úrnak a vizsgálatokban és a kidolgozásokban nyújtott szakmai segítségéért.

IRODALOMI HIVATKOZÁSOK

- [1] A közlekedési, hírközlési és építésügyi miniszter: 5/1990. (IV. 12.) KöHÉM rendelet a közúti járművek műszaki megvizsgálásáról. Online. URL: https://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99000005.koh (Megtekintés: 2021. 05. 13.)
- [2] Wikipédia: Kétütemű motor. Online. URL: https://hu.wikipedia.org/wiki/K%C3%A9t%C3%BCtem%C5%B1_motor (Megtekintés: 2021.04.03.)
- [3] Dr. Ternai Zoltán: A motorkerékpár. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.
- [4] Kovács László: Motorkerékpár-szerelés. Multi Performance Kft., Gyömrő, 2006.
- [5] Bagány Mihány: Belsőégésű motorok - Egyetemi tananyag. Typotex Kiadó, Kecskemét, 2011.
- [6] Kovács László: Motorkerékpár-szerelés, Multi Performance Kft., Gyömrő, 2006.
- [7] Gál Péter-Csizmazia József: Gépjárműmotorok II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.
- [8] Confidenza csapágyszolgálat: Precíziós csapágyak. Online. URL: <http://confidenza.hu/csapagyak/precizios-csapagyak> (Megtekintés: 2017.04.15.)
- [9] AdComNet Kft.: Technika: kétütemű vezérlések - 2. rész. Online. URL: <https://www.sportmotor.hu/magazin/ketutemu-motorok-hibai> (Megtekintés: 2021.04.19.)
- [10] Kovács László: Kétüteműek technikája 2. rész. Motorrevü magazin, 1994/12.
- [11] Kovács László: Kétüteműek technikája 11. rész. Motorrevü magazin, 1995/9.
- [12] Az Európai Parlament és a Tanács: Az Európai Parlament és a Tanács 168/2013/EU rendelete (2013. január 15.) a két- vagy háromkerékű járművek, valamint a négykerékű motorkerékpárok jóváhagyásáról és piacfelügyeletéről EGT-vonatkozású szöveg. Online. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=celex:32013R0168> (Megtekintés: 2017.04.25.)
- [13] Totalcar.hu Kft.: Hangos legyen a kipufogó vagy ronda? Online. URL: http://totalbike.hu/magazin/2010/03/04/hangos_legyen_a_kipufogo_vagy_ronda/ (Megtekintés: 2021.05.02.)
- [14] Magyarország Kormánya: 326/2011. (XII. 28.) Korm. rendelet a közúti közlekedési igazgatási feladatokról, a közúti közlekedési okmányok kiadásáról és visszavonásáról. Online. URL: <http://net.jogtar.hu/jr/gen/getdoc2.cgi?docid=A1100326.KOR> (Megtekintés: 2021.05.05.)
- [15] mzts125.atw.hu: MZ TS 125 Műszaki adatok. Online. URL: http://mzts125.atw.hu/muszaki_adatok.htm (Megtekintés: 2021.05.08.)
- [16] Dezsényi, G., Emőd, I., & Finichiu, L. Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata: egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó, Budapest, 1990.
- [17] Tesztmotor.hu: Mire számíthatunk 2016-ban? A motoripar trendjei – 2. rész. Online. URL: http://tesztmotor.hu/motoripar_trendek_2016_2_resz/ (Megtekintés: 2021.05.11.)
- [18] Az Európai Parlament és a Tanács: Az Európai Parlament és a Tanács 95/1/EK irányelve (1995. február 2.) a motorkerékpárok és segédmotoros kerékpárok legnagyobb tervezési sebességéről, valamint a motor legnagyobb nyomatékáról és legnagyobb hasznos teljesítményéről. Online. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A31995L0001&qid=1647337034105> (Megtekintés: 2021.08.15.)
- [19] Központi Statisztikai Hivatal: Magyarországon első alkalommal forgalomba helyezett közúti járműállomány. Online. URL: <https://statinfo.ksh.hu/Statinfo/haViewer.jsp> KSH adatok

- [20] United Nations: Uniform provisions concerning the approval of motor cycles equipped with a positive -ignition engine with regard to the emission of gaseous pollutants by the engine. Online. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r040e.pdf> (Megtekintés: 2021.10.23.)
- [21] Li Bao, Xizhao Li: The compiling of the motorcycle frame load spectrum Based on Dynamic Characteristic Analysis. Applied Mechanics and Materials Vol. 151, pp 150-154, 2012. Online. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.151.150> (Megtekintés: 2021.10.23)
- [22] United Nations: Uniform provisions concerning the approval of motor cycles with regard to noise. Online. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R041r2e.pdf> (Megtekintés: 2021.10.23)