

# Belsőégésű motorok hengerfelületének mikrogeometriai vizsgálata

## MICROGEOMETRIC INVESTIGATION OF THE CYLINDER SURFACE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

**DR. SOLECKI LEVENTE**

Széchenyi István Egyetem,  
Járműgyártási Tanszék

A belsőégésű motorok hengerfelülete a motor működése, üzemanyag és kenőolaj fogyasztása valamint károsanyag kibocsátása szempontjából meghatározó fontosságú. A hengerfelületet vizsgálni kell a gyártás során, valamint a kész állapotban, illetve a felület üzem közbeni változása is érdekes. A hengerfelület közvetlenül nehezen érzékelhető, közvetett érzékelésre lehetőség van a felületről készített szilikonlenyomatok alkalmazásával.

The cylinder liner of internal combustion engines is very important because of the operation of the fuel and lubricant consumption and emissions of the combustion engine. The cylinders must tread during manufacturing, then they are measured at the finished state, but also the change of running surface during operation is interesting. The cylinder surface is difficult to measure directly, but indirect measurement of the surface is possible through the use of silicone replicas.

### 1. BEVEZETÉS

Belsőégésű motorok hajtják jelenleg a közúti járművek túlnyomó részét, bár az alternatív hajtások egyre nagyobb mértékben, de egyelőre inkább csak jelzésértékű teret nyerne. A belsőégésű motorokban az üzemanyag energiájának mozgási energiává alakítása a hengerben történik. A henger határolja le az égésteret és vezeti meg a dugattyúgyűrűkön keresztül a dugattyút. A hengerfal és a dugattyú/dugattyúgyűrű kapcsolata meghatározó fontosságú a belsőégésű motor működése szempontjából. A jelenleg elterjedt hengerfal kialakítások hosszú fejlődés eredményeként alakultak ki és ez a fejlődés jelenleg is folytatódik. A cél, hogy minél kisebb kopás és súrlódás mellett jó tömítést lehessen elérni és hosszú élettartamot. Ez a dolgozat azokat a vizsgálatokat mutatja be, amelyekkel hengerfelületek üzemi kopását lehet meghatározni.

### 2. A HENGER KIALAKÍTÁSÁT MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐK

A hengerfelület mikrogeometriai struktúráját – mintázatát – a rendelkezésre álló gyártástechnológiai lehetőségek figyelembevételével úgy kell kialakítani, hogy két egymásnak ellentmondó követelménynek egyszerre eleget tegyen: a kis ellenállás és kopás érdekében minél kisebb legyen a felületi egyenetlensége (érdessége), de a mintázata olyan legyen, hogy a kenőanyag meg tudjon tapadni rajta és biztosítson helyet az esetleges szennyeződéseknek (szilárd égéstermék-részecskék, kopadékok).



1. ábra: Szilikonlenyomat készítése a hengerfelületről



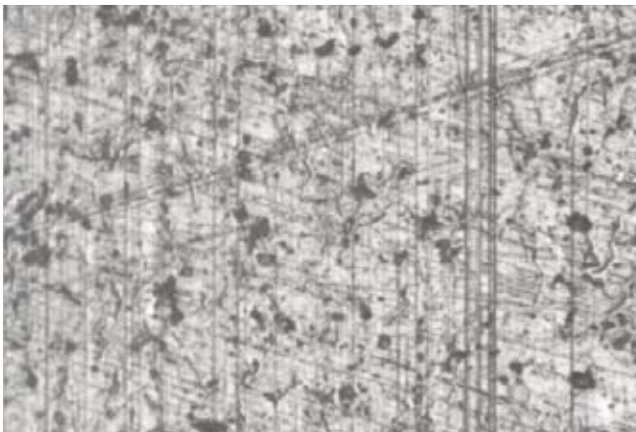
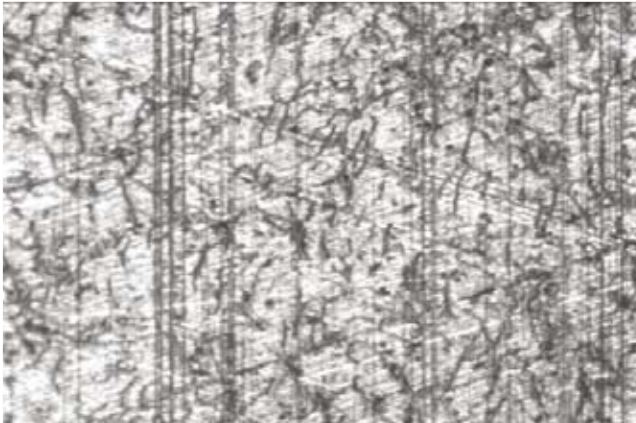
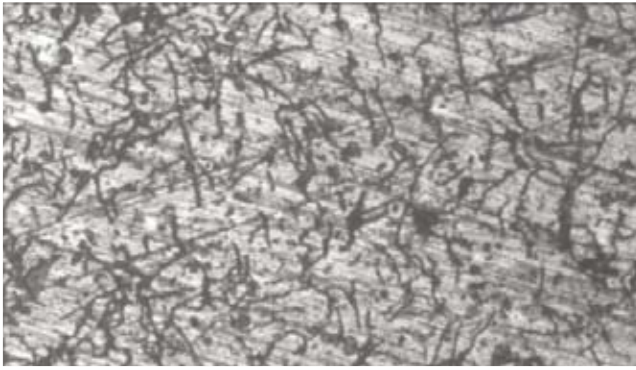
2. ábra: A kopott hengerfelületen a dugattyúgyűrűk alsó és felső holtpontjainak kopásnyomai

A hengerfelületek méretét és makrogeometriai alakját a finomfúrás és a hónolás biztosítja, a mikrogeometriai mintázat kialakítására többféle eljárást használnak. A hagyományos hengermintázatot a hengerfelület többfokozatú ún. platóhónolásával hozzák létre (1. ábra).

Csökkenhető a hónolási mintázat olyan lézertáskák beégetésével, amelyek a kenőolaj megtapadását biztosítják. Ezen kívül lehetőség van arra, hogy lézerkezeléssel feltárják a felületközeleki karbonzárványokat, hogy azok üregei biztosítsák a szükséges felületi egyenetlenséget. A felület lézerkezelése két okból is javítja a viselkedését: egyrészt simább (kisebb egyenetlenségű) felületet lehet létrehozni, ami kisebb ellenállást és kopást eredményez, másrészt a lézerezés keményebbé, ezáltal kopásállóbbá teszi a henger futófelületi réteget.

### 3. HENGERFELÜLETEK MIKROGEOMETRIAI MÉRÉSI MÓDSZEREI

A hengerfelületek közvetlenül nehezen mérhetők, mert belső felületeknek rossz a hozzáférhetőségük [2]. A mérendő felületeknek a mikrogeometriai vizsgálatokhoz nagy a kiterjedésük – egy átlagos személygépkocsiba épített belsőégésű motor hengerfuratának 80 mm körüli az átmérője és 100 mm körüli a hossza. Az érdességmérés hagyományos tűs letapogatása csak hosszirányban és legfeljebb néhány metszetben, és nem teljes hosszban használható. Többféle optikai eljárás (hagyományos mikroszkóp, fehér fény interferométer, szórt fény érzékelés ...) is alkalmazható hengerfelületek vizsgálatára, de ezeket egyedi kialakítással kell ehhez alkalmassá tenni. A felületek mikrogeometriáját mérő általános rendeltetésű berendezésekkel úgy lehet hengerfelületek részeit mérni, hogy roncsolással a méréshez metszeteket készítsünk a hengerfelületből.



3-4-5. ábra: Az 500 órát járatott motor kiindulási hengerfelületéről készített lenyomat, a kopott hengerfelület és a kopott hengerfelületről készített lenyomat képe

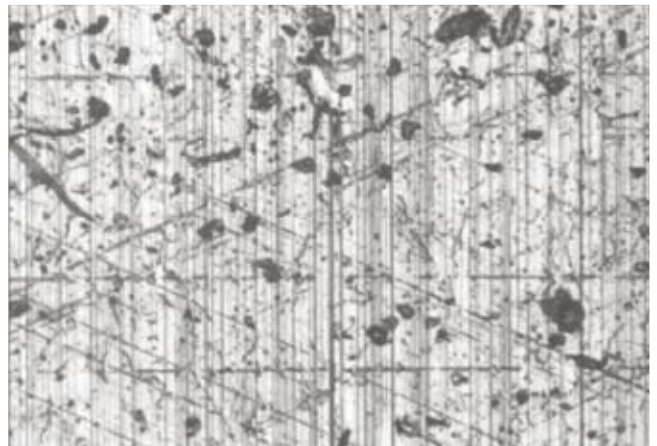
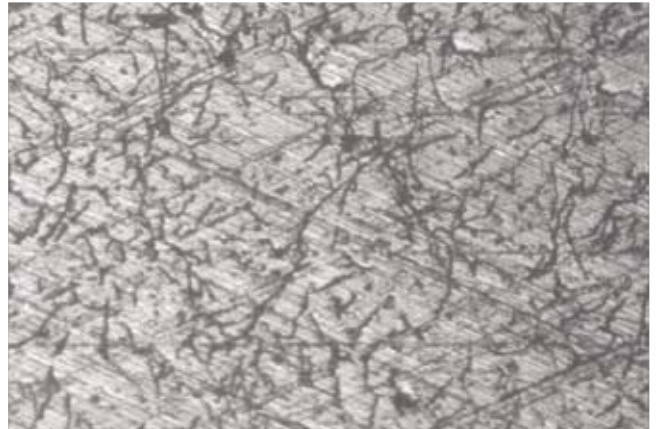
Ennek viszont az a következménye, hogy a felület mikrogeometriai mérése után már nem tudjuk üzemeltetni a motort.

Ha a hengerfelületről szilikon lenyomatot készítünk (1. ábra) [1], akkor ez a lenyomat az  $1\ \mu\text{m}$ -nél nagyobb felületi egyenetlenségeket viszonylag kis veszteséggel átviszi, és elég sokat átvisz az  $1\ \mu\text{m}$ -nél kisebb egyenetlenségekből is. A teljes hengerfelületről bonyolult lenne lenyomatot venni, de mivel a szívó és a kipufogóoldalon nagyobb a hengerfal igénybevétele a dugattyú mozgásából, ezért ezeknek a sávoknak a vizsgálata különösen érdekes a felület kopását illetően. A lenyomattechnika előnye, hogy archiválja a felület kiindulási állapotát, így lehetőség van az üzemeltetés után ugyanakkor a felületrésznek a kiindulási és későbbi állapotának összehasonlítására. A lenyomatok rugalmas anyagúak, ezért tapintós – tűs – érzékelővel nem, csak optikai úton mérhetők.

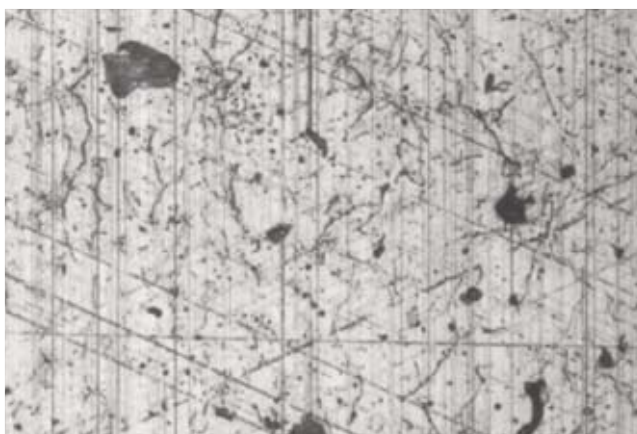
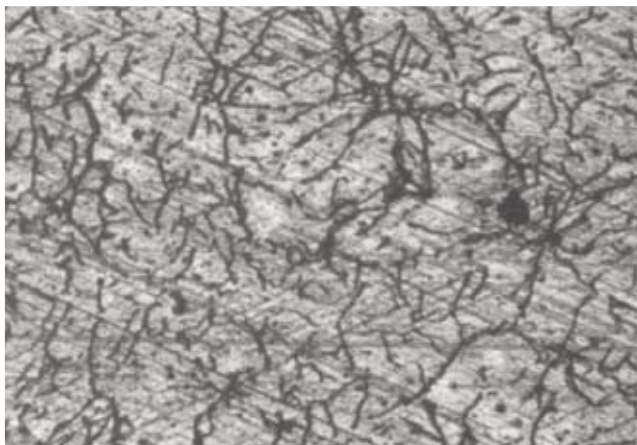
Ahhoz, hogy ugyanazokat a felületrészeket meg lehessen találni a felületről korábbi és későbbi állapotában készített lenyomatokon találni kell legalább 3 nem egy egyenesbe eső olyan bázispontot

mindkét lenyomaton, amelyek egymásnak megfelelői és minden olyan mérőberendezéssel egyértelműen megtalálhatók, amit a mérések során alkalmazni fogunk. Mivel a dugattyúgyűrűk, illetve a dugattyú nem érintkeznek a hengerfelülettel a teljes hosszon, hanem fölül és alul marad egy-egy nem érintkező sáv, ezekben lehet ilyen egymásnak megfeleltethető 4 pontot találni. Bázispontnak célszerűen választható a lenyomat 4 sarokpontja is. Meg kell ezután határozni mind a bázispontoknak, mind a vizsgálandó pontoknak a térbeli koordinátáit. Amilyen pontosan megfeleltethetők – fedésbe hozhatók egymással a bázispontok, olyan pontossággal feltételezhető, hogy a keresett pontok megközelítik egymást. A bázispontok egymásra illesztéséhez szükséges koordinátatranszformáció Helmert-transzformációval [3] határozható meg, vagy egyszerűsítve síkban kezelve a problémát két lépcsőben: először a bázispontok súlypontjának egymásra tolásával (transzláció), majd a pontoknak a bázispontok súlypontja körüli elforgatásával, amíg a koordináták eltéréseinek négyzetösszege minimális nem lesz (rotáció).

A mérések optikai koordináta mérőgépen (MAHR PMC800) kezdődnek a kopott felület, vagy az arról készített lenyomat vizsgálatával. Ki kell választani mind a bázispontokat, mind azokat a pontokat, amelyeket a továbbiakban vizsgálni fogunk. Ezekről a pontokról képfelvételeket kell készíteni, és meg kell mérni ezeknek a pontoknak a koordinátáit. Ezután meg kell mérni az ennek megfeleltethető lenyomaton a bázispontok koordinátáit és ki kell számolni a két koordinátarendszer egymásra illesztéséhez szükséges eltolást és elforgatást. Az ismeretlen pontokra ugyanezt az eltolást és elforgatást alkalmazva megkapjuk ezeknek a koordinátáit. Ugyanígy a bázispontokból kiindulva lehet érdességmérő berendezésen (Taylor Hobson TALYSURF CLI2000) ugyanazokat a pontokat megtalálni, mint amelyeket a koordináta mérőgépen bemértünk.



6-7. ábra: Az 1000 órát járatott motor kiindulási és kopott hengerfelületéről készített lenyomat képe



8-9. ábra: Az 1500 órát teljes terheléssel járatott motor kiindulási és kopott hengerfelületéről készített lenyomat képe

A módszert úgy ellenőriztük, hogy összehasonlítottuk, hogy mennyire feleltethetők meg egymásnak ugyanannak a felületrésznek a közvetlen érzékeléssel készített képi és 3D-s letapogatással készített felvételei a lenyomat megfelelő pontjának képi és 3D-s letapogatással érzékelhető felvételeivel. Azon kívül, hogy a lenyomat a térbeli struktúra tükörképe, el is vesz információt és az érzékeléseknek is van egy bizonyos bizonytalanságuk, a lenyomatokon érzékelhető pontok az eredeti felület pontjaival mind képileg, mind a térbeli struktúrát illetően jó egyezést mutatnak. A lenyomattechnikát összehasonlítottuk a felület közvetlen érzékelésével fehérfény-interferométerrel és ezzel is megfelelő egyezést kaptunk.

#### 4. KOPÁSVIZSGÁLATOK A HENGERFELÜLETEKEN

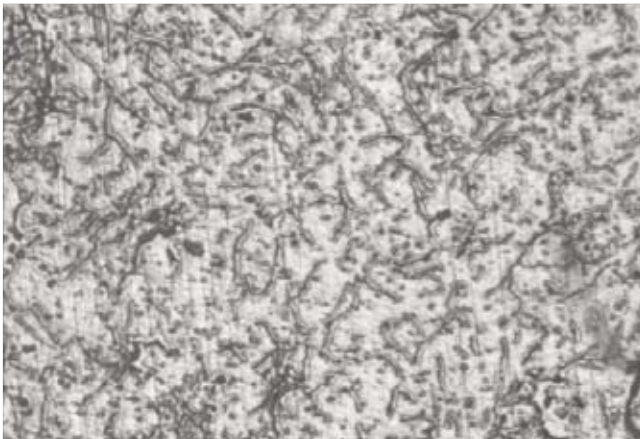
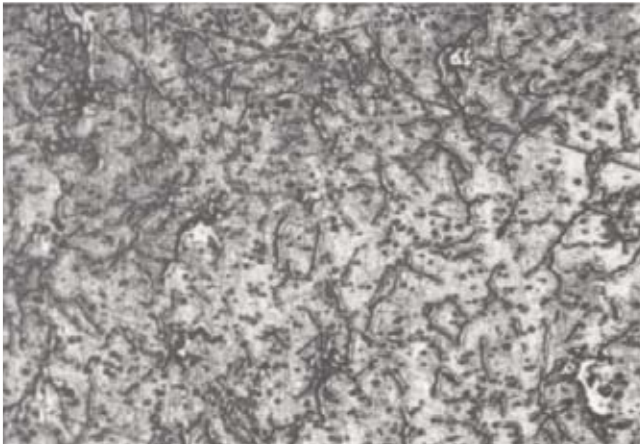
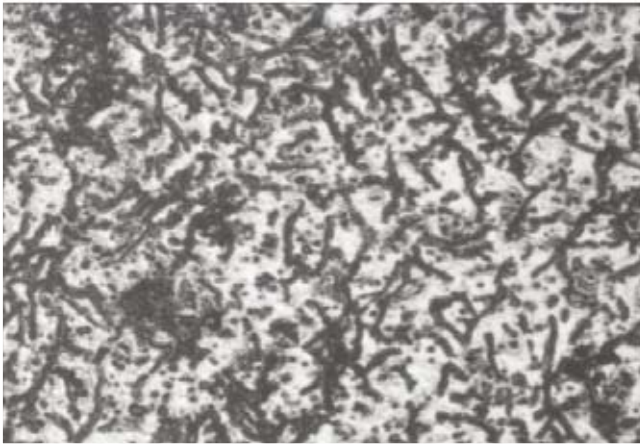
Két vizsgálati sorozatot végeztünk. Az egyik sorozat 3 ugyanolyan-nak tekinthető – típus, gyártás – lézerkezelt hengerfelületű motor-nak hasonlítottuk össze a gyártás utáni hengerfelületét az 500 illetve 1000 órás kevert programú és 1500 órás teljes terhelésű próbapad-i jártás utániával. A vizuális vizsgálatot a négyhengeres motorok min-den hengerének szívó és kipufogóoldalának teljes lökethosszára és még a dugattyúgyűrűk alsó holtpontja alatti területre is elvégeztük. A vizsgálatból megállapítottuk, hogy egy motoron belül az egyes hengerek kiindulás állapotában és kopásában feltűnő eltérés nem mutatkozott és a szívó és a kipufogóoldal között sem lehetett nagy különbséget tapasztalni. Mindegyik hengerfelületről készített lenyomatról meg lehetett állapítani mindhárom dugattyúgyűrű (2 kompressziógyűrű és az olajlehúzógyűrű) alsó és felső holtpontját. **(2. ábra)** A holtpontnál egyrészt kifényesedik a felület, másrészt itt több hosszirányú karc is kezdődik, vagy végződik. A holtpontok hely-

zetét kimérve és összehasonlítva meg lehetett állapítani, hogy egy motoron belül a 4 hengernél összesítve a forgattyústengely egyes hajtókacsapjainak a távolsága a forgástengelytől, a hajtókarhosszak és a dugattyú csapszegfurat tengelytávolsága a gyűrűhoronytól mennyire voltak különbözőek.

A holtponti sáv szélességéből a hajtókarcsap/hajtókarfurat, hajtókar/dugattyúcsapszeg/dugattyú és a gyűrűhorony/gyűrű illesz-tésére lehet következtetni. Egy henger szívó és kipufogóoldalánál a holtpontmagasságok különbségéből a holtpontokban a dugattyú helyzetének ferdeségére (billegésére) lehet következtetni. A kopás a hengerfelületen olyan formában jelentkezik, hogy a felület gyártási mintázatának magassága csökken, a finom mintázat el is tűnhet, másrészt a felületen olyan hosszirányú karcok keletkeznek, melyek gyártáskor egyáltalán nem voltak. A kopásnyomokból arra lehetett kö-



10-11-12. ábra: A spirálhónolt hengerfelület kiindulási, 40 és 140 órás kopott állapotáról készített lenyomat képe



13-14-15. ábra: A lézerkezelt hengerfelület kiindulási, 40 és 140 órás kopott állapotáról készített lenyomat képe

vetkeztetni, hogy az elvárásoknak megfelelően a legnagyobb kopás a löket mentén a löket felső harmadában van, ahol egyrészt az égésből a legnagyobb nyomások hatnak a dugattyúra és ahol már mind a 3 gyűrű érintkezik a hengerfelülettel. A legkevesebbet – 500 órát – já-

ratott motor (3-4-5. ábra) hengerfelületén voltak olyan területek, ahol nem volt kopásnyom és abból, hogy a felület az égéstermékektől kokszosodott arra következtettünk, hogy ilyen terhelés mellett nem is érintkezett azon a részen a gyűrű a hengerfelülettel. Mivel a gyűrűk alsó holtpontja alatt is voltak hosszirányú karcok ez arra utalt, hogy itt a dugattyú palástfelülete érintkezett a hengerfelülettel.

Az 1000 órát járatott motornál (6-7. ábra) sokkal több kopásnyom keletkezett, mint az 500 órát járatottnál és a teljes lökethosszon jelentkeztek a kopások, de még maradt mintázat az eredeti felületről is.

Az 1500 órás teljes terheléssel járatott motor (8-9. ábra) hengerfelületén a kopás hatására keletkezett hosszirányú karcok szinte teljesen eltüntették az eredeti mintázatot, a mintázat szempontjából ez a hengerfelület megközelíti ezzel az élettartamának végét.

A másik vizsgálati sorozatot egy spirálhónolt (10-11-12. ábra) és egy lézerkezelt hengerfelületű (13-14-15. ábra) de egyébként ugyanolyan felépítésű négyhengeres ottó-motoron végeztük. A motorok hengerfelületeinek szívó és kipufogó oldalairól vettünk a kiindulási állapotban szilikon lenyomatot. Ezután a motorokat 40 órát járatatták fékpadon könnyű terheléssel. A járatás után a motorokat szétszerelték és a kopott hengerfelületekről lenyomatot vettünk. Ezután a motorokat ugyanúgy, mind legelőször összeszerelték és megint 100 órát járatatták könnyű terheléssel. A járatás után megint szétszerelés és a hengerfelületekről lenyomatvétel következett. Így össze lehet hasonlítani, hogy ugyanannak a motornak a hengerfelülete a bejáratás első 40, majd az azt követő 100 óra alatt, ami a további működés szempontjából nagyon fontos, hogyan változik. A vizsgálat alapján megállapítottuk, hogy az első 40 órás járatás mindkét hengerfelületen nagy jelentőségű kopásnyomokat. A különbség a következő 100 órás járatásnál jelentkezik: míg a spirálhónolt hengerfelületű motornál további kopásnyomok keletkeznek, addig a lézerkezelt hengerfelületű motornál nem keletkezik további észrevehető kopásnyom ez alatt a 100 óra futás alatt. Tehát a lézerkezelt hengerfelület viselkedése kedvezőbb, mint a spirálhónolté, mivel a rövid bejáratás után a kopás lecsökken. A mérési módszer alkalmasnak mutatkozik ilyen többlépcsős – a motor ismételt szét- és összeszerelésével járó – kopásvizsgálatok elvégzésére.

## 5. ÖSSZEFOGLALÓ

A hengerfelületek közvetett vizsgálata szilikon lenyomatokkal alkalmas a felület mikrogeometriájának ellenőrzésére, abból a szempontból is, hogy a kiindulási állapot megfelel-e a követelményeknek, valamint a kiindulás állapotot össze lehet hasonlítani a hengerfelület későbbi kopott állapotával. A kopás vizsgálatából következtetéseket lehet levonni mind a hengerfelület üzemi tulajdonságaira, mind az üzemeltetésre.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a „Mobilitás és környezet, Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-Dunántúli Régióban” projekt keretében a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. ●

### IRODALOM

- [1] Gara L, Zou Q, Sangeorzan BP, Barber GC, McCormick HE, Mekari MH: Wear measurement of the cylinder liner of a single cylinder diesel engine using a replication method, *Wear*, 268 (2010) pp. 558-564
- [2] Grabon W, Pawlus P, Sep J: Tribological characteristics of one-process and two-process cylinder liner honed surfaces under reciprocating sliding conditions, *Tribology International*, 43 (2010) pp. 1882-1892
- [3] Luhmann T: *Nahbereichs-photogrammetrie*, Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH. & Co. KG, Heidelberg, 2003. pp. 35-45