

Kenőolajhiányos állapot hatásának vizsgálata a turbófeltöltők rotordinamikájára rezgésdiagnosztika alkalmazásával

Investigation of effect of oil-shortage on rotordynamics of automotive turbochargers via vibration diagnostics

PESTHY Márk¹, tanársegéd, ROHDE-BRANDENBURGER Jan Dr.¹, egyetemi docens, TÓTH-NAGY Csaba Dr.¹, egyetemi docens

¹Széchenyi István Egyetem, Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, Járműhajtás Technológia Tanszék, H 9026 Győr, Egyetem tér 1.

Tel.: +36 70/883-4180, e-mail: pesthy.mark@ga.sze.hu, honlap: <https://bmt.sze.hu/>

Abstract

The most common cause of failure of turbochargers can be linked to the lubricating oil. In most cases, the problem is caused by the inadequate quality of the lubricating oil or its lack of quantity, which can further increase and even result in the failure of additional components. The study presents a series of experimental measurements that examined a turbocharger with a continuously reduced supply of lubricating oil on a turbocharger component test bench while vibration values were recorded by accelerometers. The results obtained showed a shift of subsynchronous oscillations, which is presented in detail in the study.

Keywords: Turbocharger, Rotordynamics, Vibroacoustics, Tribology, Measurement technologies

Kivonat

A turbófeltöltők meghibásodásának leggyakoribb oka a kenőolajjal hozható kapcsolatba. Legtöbbször a kenőolaj nem megfelelő minősége, illetve annak mennyiségi hiánya okoz problémát, amely tovább fokozódhat és akár további részesegységek meghibásodását is eredményezheti. A tanulmány bemutat egy kísérleti mérési sorozatot, amely turbófeltöltő komponens tesztpadon gyorsulásérzékelők segítségével vizsgált egy turbófeltöltőt folyamatosan csökkentett kenőolaj ellátással. Az elért eredmények a szubszinkron rezgések eltolódását eredményezték, amelyet a tanulmány részletesen bemutat.

Kulcsszavak: Turbófeltöltő, Rotordinamika, Vibroakusztika, Tribológia, Méréstechnika

1. Bevezetés

Az utóbbi évek környezetvédelmi céljaihoz igazodva az autóipar számos alternatívát hozott létre a belsőégésű motoros meghajtású járművek leváltására, ezek közül is az elektromos meghajtású megoldás kezdett el nagyobb népszerűségnek örvendeni. Azonban a tisztán elektromos hajtású személygépjárművek elterjedése rövid időn belül nem lesz széleskörű a szükséges akkumulátorok és gyorsító állomások lassú fejlődése miatt, a belsőégésű motorok alkalmazása önállóan, vagy hibrid hajtásláncban továbbra is egy vonzó opció marad a végfelhasználók számára. Bizonyos szegmensekben ebben az esetben a tisztán elektromos hajtáshoz képest előnyösebb alternatívát jelent a belsőégésű erőforrás által biztosított nagy hatótávolság és a sűrűn lakott zónákban elegendő hajtóerőt és hatótávot biztosító elektromos kiegészítő hajtáslánc. Ezáltal a turbófeltöltőkre tehát még évekig szükség lesz olyan esetekben, ahol a belsőégésű motor leadott teljesítményére vonatkoztatott károsanyag kibocsátását hivatott csökkenteni. A belsőégésű motorok fejlesztése során a motor károsanyagkibocsátását és hatásfokát célzó technológiai fejlesztések, kenőolaj, vagy tüzelőanyag minőségének és összetételének megváltoztatása közvetetten is hatással lehetnek a turbófeltöltő működésére, esetenként nem várt meghibásodására [1]. A turbófeltöltő különböző csapágyazási konstrukcióira (siklócsapágy, gördülőelemes csapágy) is nagy hatással lehet, az újonnan használt alacsony viszkozitású kenőolajok alkalmazása, illetve az új, alternatív tüzelőanyagok használata is, amennyiben a tüzelőanyag a motor működése során a kenőolaj körébe bejut, azzal elkeveredik. Ezen technológiai újítások és a folyamatos

igény a belsőégésű motorok hatásfoknövelésére tették szükségessé a turbófeltöltő rotor-csapágy rendszerek vizsgálatát és folyamatos optimalizációját.

2. Turbófeltöltők leggyakoribb meghibásodása

A turbófeltöltők meghibásodási lehetőségeinek témakörében megjelent publikációk [2] áttekintése több forrásból is visszaigazolja, hogy a meghibásodások szinte minden esetben a kenőolajjal hozhatók kapcsolatba. Legtöbbször a kenőolaj nem megfelelő minősége [3], illetve annak teljes-, vagy részleges hiánya [4] okoz problémát, amely tovább fokozódhat és akár további részegységek meghibásodását is eredményezheti [5].

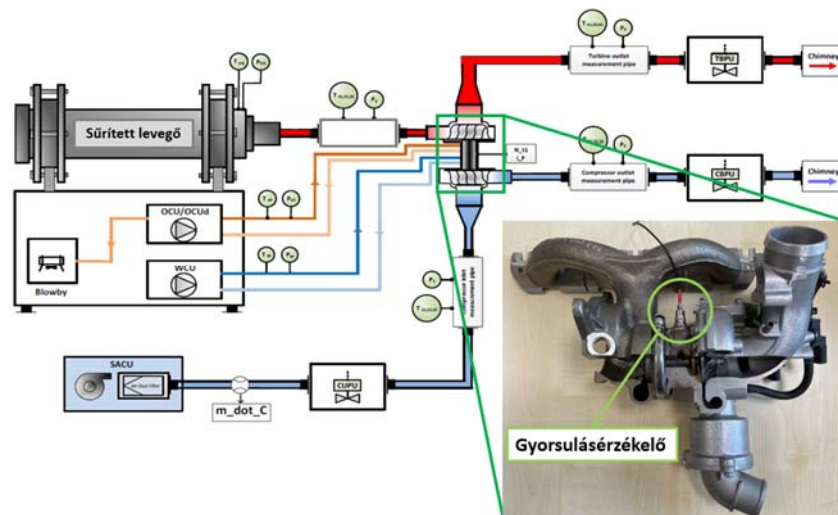
Ha a kenőolaj nem jut el megfelelő mennyiségben a turbófeltöltő csapágáihoz, legyen az oka akár eltömődés, akár az olajrendszer hibája miatti nyomáscsökkenés, akkor a turbófeltöltő magas fordulatszáma esetén a tengely és a csapágy közvetlen fizikai érintkezése gyors kopáshoz vezethet [5]. A kopás miatt a csapágyhézagok és ez által a forgórész játéka is megnő, ami a rotor tönkremeneteléhez vezet [6].

A turbófeltöltő rotor-csapágy rendszerét, valamint a kenőolaj mennyiségét és minőségét tekintve számos megközelítésben találhatók eredmények, amelyek leírják, hogy miként hat egy-egy hibás, vagy tervezetten megváltoztatott paraméter a turbófeltöltő dinamikai rendszerére. Deng és társai [7] szimulációval és kísérletekkel egyaránt vizsgálták a szennyezett, fémkopadékokat tartalmazó kenőolaj hatását a turbófeltöltő szubszinkron komponenseire vonatkozólag, ahol megállapították, hogy a turbófeltöltő szubszinkron rezgése kapcsolatba hozható a kenőolajban lévő szennyeződésekkel, mivel azok közvetlenül befolyásolják a csapágy merevségi és csillapítási paramétereit. Bernhauser és társai [8] különböző konstrukciójú, úgynevezett „multilobe” úszócsapágyak alkalmazását vizsgálták szimulációs környezetben. Megállapították, hogy a módosított dizájn a csapágy belső ívén hatással van a szubszinkron rezgések nagyságára. Wang és társai [9] a turbófeltöltő rotorjára ható kiegyensúlyozatlanság pozíciójának hatását vizsgálták. Megállapították, hogy a különböző kiegyensúlyozatlansági paraméterek mellett az első renden kívül a szubszinkron rezgéskomponensek is nagymértékben változnak.

A megvizsgált tanulmányok alapján megállapítható, hogy számos paraméter befolyásolja a szubszinkron rezgések kimenetelét. A kenőolaj mennyiségi hiányának vizsgálata csak említés szinten szerepel a publikációkban. Így ezen tanulmány ezt a hiányt szándékozik pótolni kísérleti mérések kiértékelésével.

3. Kísérleti mérések

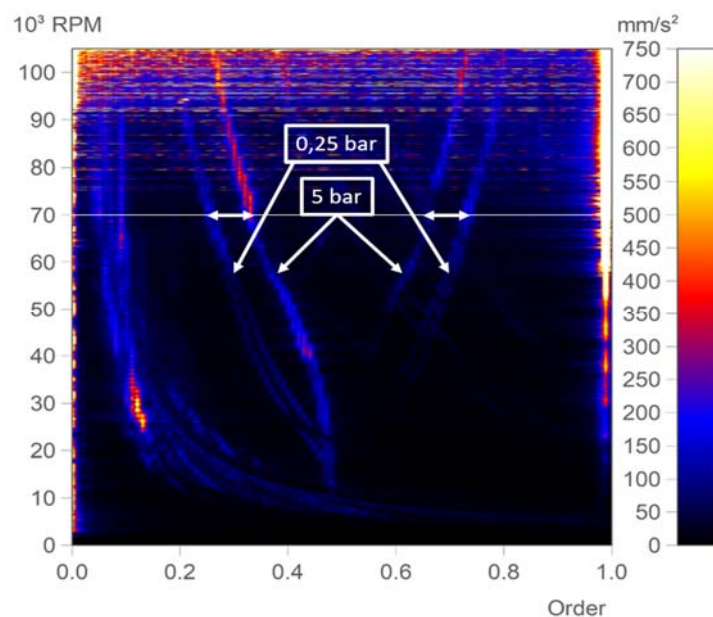
A kísérleti mérési sorozat egy turbófeltöltő tesztelésére kialakított komponens tesztpadon történt, amelynek infrastruktúráját részletesen leírják Rác és társai [10]. A tesztpad alkalmas fel-, és lefutásos tesztek végrehajtására a turbófeltöltő teljes fordulatszám tartományán, miközben rögzítésre kerülnek a kenőolajellátás paraméterei, a turbófeltöltő üzemi paraméterei és a turbófeltöltőn elhelyezett gyorsulásérzékelő általi adatok. Jelen esetben a gyorsulásérzékelő a turbófeltöltő középrészén került elhelyezésre, annak érdekében, hogy a csapágyakhoz minél közelebb kerüljön, így a lehető legjobb eredményeket szolgáltatja (1. ábra). A teszt 120 másodperc alatt fel-, és lefutást tartalmazott mindegyik különböző állapotban. A kenőolaj nyomásának csökkentésével a mérések az alábbi sorrendben zajlottak (az olajnyomás egysége bar, relatív): 5, 4, 3, 2,5, 2, 1,75, 1,5, 1,25, 1, 0,75, 0,5, és 0,25. Mindegyik mérés között egy bázismérés történt, amely egy normális állapotot hivatott létrehozni, 3,5 bar olajnyomással. Mivel az alacsony olajnyomású mérések időtartama rövid volt, maradandó károsodás nem történt, így a bázismérések nem mutattak változást a csapágy kopási állapotában.



24. ábra: A turbófeltöltő komponens tesztpad sematikus ábrája és a turbófeltöltőn elhelyezett rezgésszenzor pozíciója

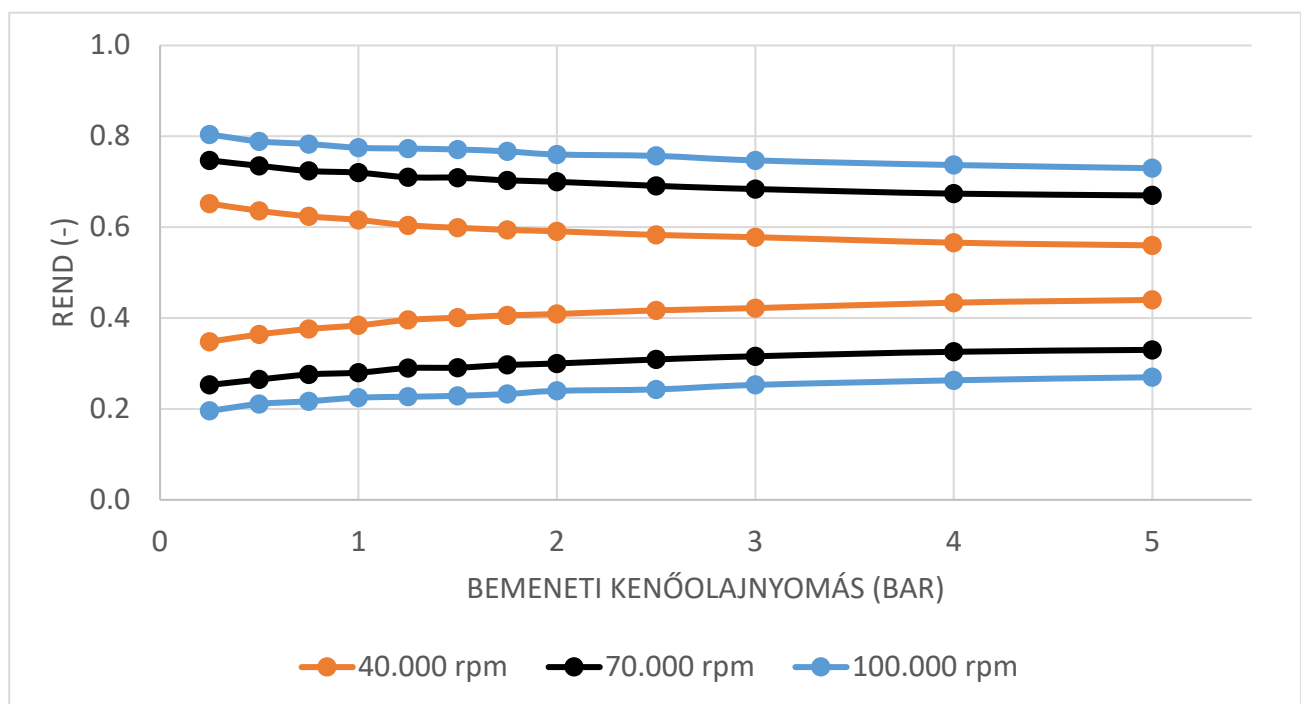
4. Eredmények értékelése

Az elkészült kísérleti mérések (fel-, és lefutások) eredményeit frekvencia-, vagy rendspektrumon érdemes megjeleníteni, mert ebben az esetben egy ábrán láthatók a turbófeltöltő teljes fordulatszám tartományán megjelenő rezgésértékek. Mivel a jelen esetben a szubszinkron rezgéskomponensek vizsgálatára kerül a hangsúly, így a rendspektrum alkalmazása került kiválasztásra. Az alkalmazott rendspektrum analízis esetén a vízszintes tengely hivatott a rotor forgásából adódó rendek megjelenítésére, míg a függőleges tengelyen a rotor fordulatszáma látható (2. ábra). Jelen esetben a rendspektrum csak az első rendig került megjelenítésre, a szubszinkron komponensek nagyobb mértékű láthatósága miatt. Az 2. ábrán megfigyelhető az első és az utolsó kísérleti mérés (5 bar és 0,25 bar bemenő olajnyomással). A két szélsőséges állapot került bemutatásra, mert kétdimenziós ábrán így szemléltethető a legjobban a V-alakú szubszinkron görbén végbemenő változás. Megfigyelhető, hogy a V-alakú görbe a 0,5-ik rendre szimmetrikus és a karakterisztikája a bemenő olajnyomás hatására megváltozik. A 0,5-ik rendhez közelebbi komponensek tartoznak az 5 bar kenőolajnyomáshoz, a távolabbi komponensek tartoznak a 0,25 bar kenőolajnyomáshoz. A 2. ábra két kiértékelt rendspektrum egymásra helyezésével történt, így mindkét bemutatott mérés adatai egyaránt láthatók.



25. ábra: A két szélsőséges kísérleti mérés, 5 bar és 0,25 bar bemenő kenőolajnyomás eredményének megjelenítése rendspektrumon

Az adatok további vizsgálata és szemléltetése érdekében a szubszinkron komponensek pontos pozíciója egy táblázatban került összegyűjtésre három kiválasztott fordulatszámra, amelyek a 40.000, 70.000 és 100.000 rpm. Ezáltal az adatok már egy kétdimenziós diagramon is megjeleníthetővé váltak, amely a 3. ábrán látható. Az x-tengelyen került feltüntetésre a bemenő kenőolajnyomás, így már mindegyik lépés hatása látható és megfigyelhető a fokozatos átmenet. Az y-tengelyen a szubszinkron komponensek által elfoglalt rend-pozíció látható. Jól megfigyelhető, hogy az egyre alacsonyabb olajnyomás a 0,5-ik rendtől egyre távolabbi eredményeket hoz. A szubszinkron komponensek ilyen típusú karakterisztikai megváltozása ilyen mértékben a szerzők legjobb tudása szerint még nem került publikálásra. A jelenség mögött álló fizikai magyarázat valószínűleg a kenési viszonyok változása miatti csapágy csillapítási tényezőjével hozható majd összefüggésbe, ehhez viszont további kísérletek és szimulációk lesznek szükségesek.



26. ábra: A szubszinkron komponensek rend-értékeinek megjelenítése 3 kiválasztott fordulatszámra (40.000, 70.000 és 100.000 rpm)

5. Összefoglalás és kitekintés

A tanulmány bemutatott egy kísérleti mérési sorozatot, amelyben egy turbófeltöltő különböző bemenő kenőolajnyomás értékekkel került fel-, és lefuttatásra. Így gyorsulásérzékelő segítségével rendspektrumon vizsgálhatóvá váltak a szubszinkron rezgéskomponensek. Az ismertetett eredmények alapján megfigyelhető volt egy karakterisztikus változás a szubszinkron rezgéskomponensek rendspektrumra vonatkoztatott pozícióján. A kutatás következő lépése a bemutatott jelenség fizikai magyarázatának kialakítása további kísérletekkel.

A kutatás további célja tesztpadi kísérletek alkalmazása, a turbófeltöltő rotordinamikai, főleg tribológiához köthető kérdéseinek vizsgálatára. Ebbe beletartozik a hidegindítási körülmények olajra gyakorolt hatásának és az ultra alacsony viszkozitású olajok hatásának vizsgálata. Továbbá cél, a rezgésdiagnosztikával megvalósítható lehetséges hibák előrejelzésének kutatása.

Irodalmi hivatkozások

- [1] Moldovanu, D., Molea, A., & Barabás, I. (2020). Preliminary results on nano-diamond and nano-graphite testing as additive for an engine lubrication oil. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 724, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.
- [2] Autotechnika folyóirat, „A TURBÓFELTÖLTŐK MEGHIBÁSODÁSAI”, 2009, <https://autotechnika.hu/cikkek/8477.a-turbofeltoltok-meghibasodasai.html> (Utolsó letöltés: 2023.02.18.)
- [3] Garrett Advancing Motion, „Why do turbochargers fail?”, <https://www.garrettmotion.com/knowledge-center-category/turbo-replacement/why-do-turbochargers-fail/> (Utolsó letöltés: 2023.02.18.)
- [4] Melett – Precision Engineered Turbochargers & Parts, „Why Do Turbo Failures Occur?”, <https://www.melett.com/technical/why-turbos-fail/> (Utolsó letöltés: 2023.02.21.)
- [5] Gunter, E., J., „Review and Failure Analysis of Three 4 Cylinder Engine Turbochargers”, 2020, Dyrobes Papers, <https://dyrobes.com/paper/review-and-failure-analysis-of-three-4-cylinder-engine-turbochargers/> (Utolsó letöltés: 2023.02.24.)
- [6] Polychronis, D., Retzios, E., Geralis A., Gasparakis, E., Apostolos, P., „Turbocharger Lubrication -Lubricant Behavior and Factors That Cause Turbocharger Failure”, International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 2013
- [7] Deng, D., Shi, F., Begin, L., and Du, I., "The Effect of Oil Debris in Turbocharger Journal Bearings on Subsynchronous NVH," SAE Technical Paper 2015-01-1285, 2015, <https://doi.org/10.4271/2015-01-1285>
- [8] Bernhauser, L., Heinisch, M., Schörghöner, M., Nader, M., „The Effect of Non-Circular Bearing Shapes in Hydrodynamic Journal Bearings on the Vibration Behavior of Turbocharger Structures”, Lubricants 2017, 5, 6. <https://doi.org/10.3390/lubricants5010006>
- [9] Wang, L., Bin, G., Li, X. et al. „Effects of unbalance location on dynamic characteristics of high-speed gasoline engine turbocharger with floating ring bearings”, Chin. J. Mech. Eng. 29, 271–280 (2016), <https://doi.org/10.3901/CJME.2015.1013.121>
- [10] Rác, B., Pesthy, M., Sass, P., Rohde-Brandenburger, J., „Experimental Investigation of Vibroacoustic Behaviour of an Automotive Turbocharger with Semi-floating Bearing”, In: Jármái, K., Voith, K. (eds) Vehicle and Automotive Engineering 3. VAE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9529-5_21