



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Kenéstechnikai és tribo-diagnosztikai szakmérnök
szakirányú továbbképzés

OM936 motor felhasználáshoz illeszkedő motorolaj
csereperiódus beállítás LubCheck olajvizsgálatok segítségével

Belső konzulens:	Kalácska Gábor egyetemi tanár
Külső konzulens:	Kalácska László kenéstechnikai szakmérnök
Készítette:	Horváth Márk O6X0WX levelező
Intézet/Tanszék:	Szent István Campus

Gödöllő
2024

MŰSZAKI INTÉZET

Kenéstechnológiai és Tribo-diagnosztikai szakmérnök / szakember

SZAKDOLGOZAT

feladatlap

Horváth Márk (O6X0WX)

részére

A szakdolgozat címe:

**OM 936 motor felhasználásához illeszkedő csereperiódus beállítás LubCheck
olajvizsgálatok segítségével**

Feladatkiírás:

Bevezetés, cégbemutató, szakirodalom feldolgozás, probléma bemutatása, olajvizsgálat elvégzése, az eredmények értékelése, gazdasági számítás, összefoglalás

Közreműködő tanszék: Anyagtudományi- és Gépipari Folyamatok

Külső konzulens: Kalácska László, kenéstechnikai szakmérnök, Orbico Hungary Kft,
Kenőanyag üzletág

Belső konzulens: Dr. Kalácska Gábor, egyetemi tanár, MATE Műszaki Intézet

Beadási határidő: 2024. november 5

Gödöllő, 2024. szeptember 9

Jóváhagyom


(tanszékvezető)


(szakfelelős)

Átvettem


(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024.


(külső konzulens)

Tartalom

1.	Bevezetés.....	6
1.1.	Téma jelentősége	6
1.2.	Célkitűzés.....	6
2.	Cégbemutató	7
3.	Fontosabb szakirodalmi alapok áttekintése	8
3.1.	Tribológia.....	8
3.2.	Súrlódás.....	9
3.3.	Kopás	10
3.3.1.	Adhéziós kopás.....	11
3.3.2.	Abráziós kopás	11
3.3.3.	Fáradásos kopás	12
3.3.4.	Tribokémiai kopás	13
3.3.5.	Fretting kopás	13
3.3.6.	Eróziós kopás.....	14
3.3.7.	Kavitációs kopás.....	14
3.4.	Kenés.....	15
3.5.	Kenési állapotok.....	16
3.5.1.	Határkenés állapot	16
3.5.2.	Vegyes kenésállapot	16
3.5.3.	Elasztohidrodinamikai kenésállapot	16
3.5.4.	Hidrodinamikai kenésállapot.....	16
4.	Motorolajok.....	17
4.1.	Főbb elvárások	17
4.2.	Viszkózitás	17
4.3.	Motorolajok viszkozitás szerinti osztályozása	18

4.4.	Motorolajok teljesítményszint szerinti osztályozása	20
4.4.1.	API rendszer	20
4.4.2.	ACEA és CCMC rendszer	20
4.4.3.	Gépgyártói teljesítményszintek (OEM).....	21
4.5.	Motorolajok összetétele	21
4.5.1.	Alapolajok	21
4.5.2.	Adalékok.....	21
5.	Probléma bemutatása.....	23
5.1.	Koromtartalom és hatása.....	23
5.2.	Üzemanyagtartalom és hatása	24
5.3.	Fenntartási nehézségek	25
6.	Célkitűzések megvalósítása, a probléma bemutatása.....	27
6.1.	Lubcheck.....	27
6.2.	Vizsgálati módszerek és határértékek	27
6.3.	Ferrográfia.....	29
6.4.	Eredmények	31
6.4.1.	0 km-es referencia mintavételek eredményei	31
6.4.2.	10.000 km-es mintavételek eredményei	34
6.4.3.	20.000 km-es mintavétel eredményei.....	36
6.4.4.	30.000 km-es mintavételek eredményei	37
6.4.5.	40.000 km-es mintavételek eredményei	39
6.4.6.	50.000 km-es mintavételek eredményei	41
6.4.7.	60.000 km-es mintavételek eredményei	43
7.	Gazdasági számítás	45
8.	Összefoglalás.....	46

9.	Summary	49
10.	Nyilatkozatok.....	50
11.	Irodalomjegyzék	53

1. Bevezetés

A szakdolgozatom témáját a Mercedes Benz által gyártott Conecto NG típusú, szóló, 12 méteres autóbuszok OM 936 BlueEFFICIENCY Power, 7,7 liter hengerűrtartalmú, állva beépített, soros, 6 hengeres 260kW csúcsteljesítményű és 1400Nm nyomatékú Euro 6d és Euro 6e motorja [1] szolgáltatja és ennek a felhasználási módjához illeszkedő olajcsereperiódus beállítása. A vizsgálatban résztvevő autóbuszokat a BKV Zrt. üzemelteti, valamint a nem napi szintű karbantartásokban részt vesz az ITK Omnibus Hungaria Kft. műszaki gárdája is, továbbá az olajvizsgálatok eredményeinek az anyacég felé való értelmezésében és továbbításban is segítséget nyújt.

1.1. Téma jelentősége

A bevezetésben megnevezett OM936 motorral szerelt autóbusból csak a BKV Zrt. állományában 125 darab található jelenleg. Ebből 25 darab a Kelenföldi Divízióban, 25 darab az Óbudai Divízióban, 48 darab a Dél-pesti Divízióban és 27 darab a Trolibusz Divízióban. Ezeknek a járműveknek egy része a BKV Zrt. tulajdonát képezi, másik része pedig bérleti szerződés keretein belül szolgálja a flottát az ITK Holding jóvoltából.

Ezek az autóbuszok jellemzően 5000-6000 km-t futnak havonta belvárosi forgalomban, flottára vetített 21km/h átlagsebesség mellett, magas utaslétszám kíséretében. Ebből fakadóan nagyon fontos, hogy a lehető legmagasabb üzembiztosság mellett tudják kiszolgálni ezt az igényt. A gyártó által megadott olajcsere periódus ebben a nehéz üzemnek megfelelő felhasználás során nem segíti elő a meghibásodások és az ezzel kieső idő minimalizálását. Éppen ezért szükségessé vált a magasabb rendelkezésre állás miatt ezeknek a buszoknak az olajcsere periódus felülvizsgálata. Egy része az autóbuszoknak saját tulajdonú másik része pedig ITK tulajdonban van és bérleti konstrukcióban látja el feladatát a BKV-nél.

1.2. Célkitűzés

Célul tűzöm ki, hogy a referenciának kiválasztott 4 darab autóbusz 60.000 km-es olajcsere periódusa alatti, folyamatos, 10.000 kilométerenkénti LubCheck olajvizsgálatokkal megtaláljam azt a kenőanyag futásteljesítményt és egyben motorolaj állapotot, ahol az még nem hat negatívan a motorra mind rövid és hosszú távon. Ennek lépései: helyszíni mintavételezés, laborvizsgálat majd a vizsgálat szempontjából kiemelten fontos paraméterek kiértékelése.

2. Cégbemutató

A BKV Zrt. a Főváros tulajdonában lévő nagy szakmai múltú visszatekintő zártkörű részvénytársaság, mely a Megrendelővel (BKK) kötött Közszolgáltatási Szerződés alapján látja el a közösségi közlekedés üzemeltetői feladatait.

Legfőbb vállalati értékei közé tartoznak az utasbarátság, emberközpontúság, környezet iránti elkötelezettség. Továbbá szolgáltató szerepkört betöltő vállalat révén a pontosság, kiszámíthatóság és biztonság.

Jövőképekbe foglalva pedig hatékonyan működő, európai színvonalú, környezettudatos és versenyképes közösségi közlekedést szolgáltató vállalként tűzik ki magukat. [2]

Az Omnibus Hungária Kft. 2003. január 1-jén kezdte meg hivatalos működését EvoBus Hungária Kft néven. 2021. február 1-től Omnibus Hungária Kft. néven folytatja tevékenységét változatlan formában és feladattal. Az Omnibus Hungária Kft megalakulásakor kétharmad részben az osztrák Pappas Holding cégcsoport, és egyharmad részben pedig a német EvoBus GmbH közös vállalként kezdte meg működését. Az EvoBus GmbH a Daimler AG leányvállalként, az autóbuszos üzletágért felelős szervezetként tevékenykedett.

A cég 2023 utolsó hónapjában nagy átalakuláson ment keresztül. Az eddigi tulajdonosok, a Pappas Holding AG és a Daimler Buses GmbH közös megegyezése alapján a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt.-hez tartozó ITK Holding cégcsoport tulajdonát képezi 2023.12.01-től. Az Omnibus Hungária Kft. új tulajdonosi háttérrel, de továbbra is a Daimler Truck AG leányvállalként, a Daimler Buses GmbH-nak a magyarországi importőre és vezérképviselője.

A cég négy márkát képvisel Magyarországon, melyek a Mercedes-Benz és a Setra járműveinek értékesítése, a saját szerviz ellátást biztosító OMNIplus szolgáltatás és a használt autóbusz értékesítési üzletágazat a BusStore szolgáltatás.

Célkitűzésük, hogy minden ügyfél igényre a legjobb megoldást kínálják. Városi, távolsági és turistabuszok, továbbá ezek alvázaival és az ehhez tartozó szolgáltatáscsomaggal. [3]

3. Fontosabb szakirodalmi alapok áttekintése

Manapság a belsőégésű motorokkal szemben egyre nagyobb elvárásokat támasztanak. Meg kell felelniük károsanyag-kibocsátás terén a kor aktuális normáinak, fogyasztás, teljesítmény és élettartam terén pedig a felhasználó igényeit kell kielégíteniük.

Mindezek mellett a motorok fajlagos teljesítménye és ezzel együtt hatásfoka is folyamatosan nő, újabb és újabb műszaki megoldások kíséretében. A hatásfok és teljesítmény növekedés magasabb termikus és mechanikai igénybevételekkel jár a motor alkatrészeire és természetesen a motorolajra való tekintettel is.

A hatásfok növeléséhez a sokszínű műszaki újításokon túl a súrlódás csökkentése, azaz a mechanikus veszteségek csökkentése is nagyban hozzájárul és a gazdaságos üzemeltetést is elősegíti. A súrlódási veszteségek csökkentésének jó módja a mozgó és forgó tömegek csökkentése mellett a súrlódási körülmények javítása, ahol fontos szerepe van az gondosan megválasztott szerkezeti anyagoknak, érintkező felületek struktúrájának optimalizálásának és mindezek mellett természetesen a megfelelő minőségű kenőanyagoknak is.

A tehergépjármű szegmensben is a folyamatosan csökkenő motorolaj viszkozitás a tendencia. Az alacsonyabb viszkozitás jó hatással van a súrlódási veszteségek csökkentésére ugyanis alacsonyabb teljesítménnyel szivattyúzható, valamint a hidegindítás során is hamarabb és könnyebben jut el a kritikus kenési pontokra. Hátrányai közé tartozik viszont, hogy magas terhelésen és az emiatt megnövekedett hőmérsékleten az olaj kevésbé képes ellátni a kenési funkcióját, amely a kopás megnövekedéséhez és nagyobb mértékű olajfogyasztáshoz vezethet a magasabb viszkozitású olajokkal szemben.

3.1. Tribológia

Tribológiának azt a tudományágat nevezzük, ami az egymással mechanikai kölcsönhatásba kerülő alkatrészek érintkező felületeinek egymásra gyakorolt hatását vizsgálja. Az elnevezése arra utal, hogy három különböző, egymáshoz szorosan kötődő területet ölel fel, amik pedig az alábbiak: súrlódás, kopás és kenés. [4]

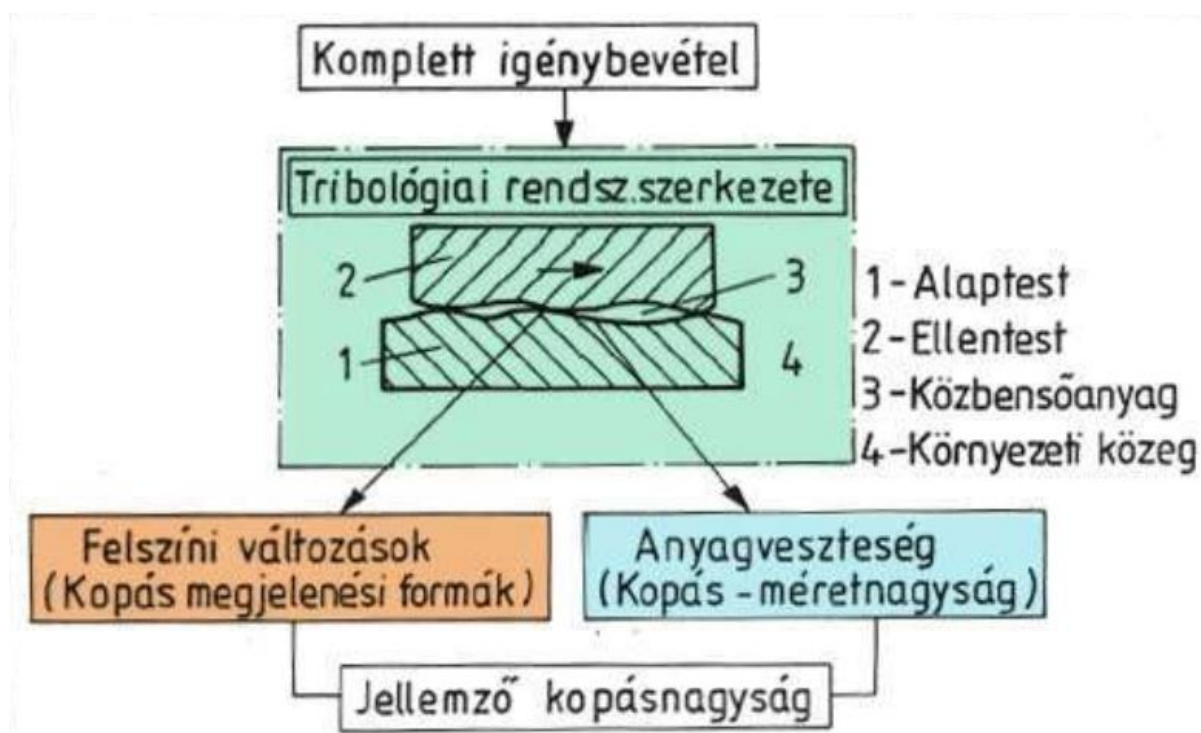
A gyakorlatban a tribológia feladata a kopás minimalizálása mellett a súrlódás optimális, felhasználási körülményekhez illeszkedő értéken tartása. A súrlódásnak a megfelelő értéke nagyban függ egy egymással kölcsönhatásban lévő alkatréspár rendeltetésétől, mert például

teljesen más nevezhető optimálisnak egy nedves kuplungszerkezet lamellái között, mint egy belsőégésű motor dugattyúgyűrű és hengerfal párosítás között.

A tribológiai kölcsönhatás különböző határfelületek között léphet fel, amelyek lehetnek:

- szilárd - szilárd
- folyékony – szilárd
- gáz – szilárd

A kölcsönhatás során az abban résztvevő testek határfelületei tribológiai rendszert alkotnak, amelyet az 1. ábra szemléltet.



1. ábra Tribológiai rendszer

3.2. Súrlódás

A súrlódás egy olyan reakció, amely akkor lép fel, ha egy testet egy erő el akar mozdítani. Két érintkező felület között keletkezik és a felületek relatív elmozdulását akadályozza. [4]

A súrlódás az alábbi szempontok alapján csoportosítható:

- a megjelenés helye szerint: külső és belső,
- a mozgásforma szerint: csúszó és gördülő (valamint ezek kombinációja),

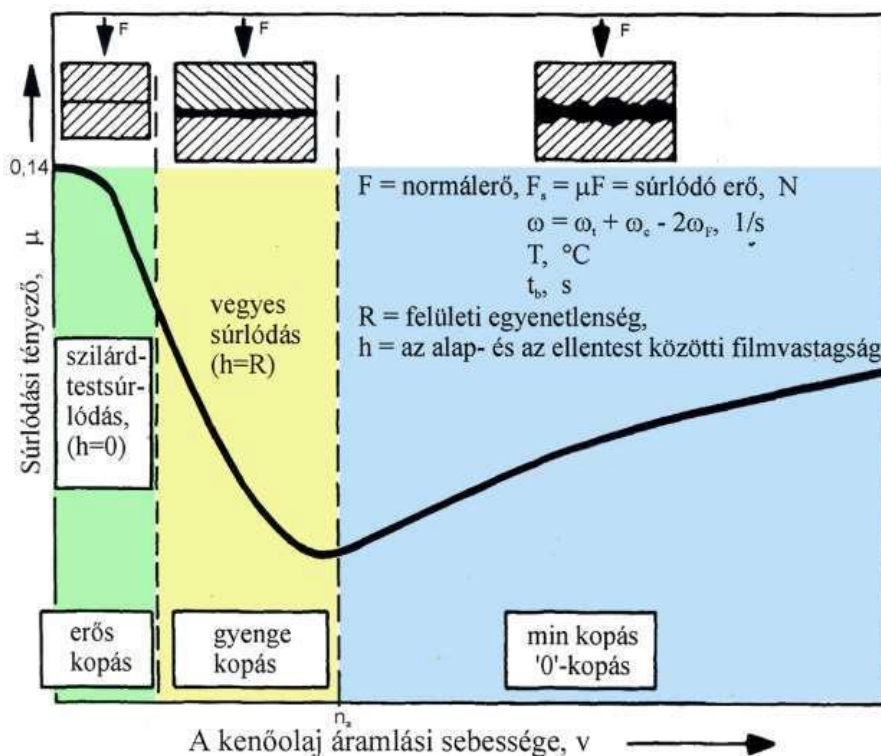
- a mozgásállapot szerint: nyugvó és mozgó,
- felületek kenésállapota szerint: száraz, határ-, vegyes és folyadéksúrlódás

A szilárd anyagok közötti kölcsönhatások a Coulumb törvény szerint:

$$\mu = \frac{F_S}{F_N}$$

Ahol az F_N a normálerő, amely egymáshoz nyomja a felületeket és F_S komponens, amely ellenáll a csúszásnak és ellentétes irányú az elmozdulással.

Az egyes súrlódási állapotok összefüggését a súrlódás hatásával legjobban a 2. ábrán látható Stribeck-görbe segítségével tudjuk értelmezni.



2. ábra Stribeck-görbe [4]

3.3. Kopás

A súrlódás során a mechanikai és termikus igénybevételek hatására az egymással kölcsönhatásba lévő súrlódó felületekről fokozatosan anyagrészecskék válnak le, a felületek alakja és mérete megváltozik. A változás sebességétől függően az érintkező felületek különböző mértékű, a működés szempontjából megengedhető vagy nem megengedhető mértékű károsodásokat szenvednek. [5] [6] A kopás lassú fokozatos anyagleválás, szerkezet

működésével együtt járó, gazdaságosan ki nem küszöbölhető, ezért megengedett folyamat, amely csak hosszabb idő alatt okoz akkora alak méretváltozást, amely már működési zavarokat okozhat. [7]

3.3.1. Adhéziós kopás

Az adhéziós vagy más néven hegedéses kopás abban az esetben jön létre, ha az érintkező felületek viszonylag kicsisebességgel mozdulnak el egymáson. Leginkább fémes anyagok között jellemző az előfordulása, kenés vagy felületi oxidréteg hiánya miatt. A kopási folyamat során, annak kezdetekor az alkatrészpárok súrlódásából adódóan az érintkezési pontokon fémes kötés jön létre. Az ezt követő elmozdulások során a felületek nem a felkeményedett és összehegedt pontokban válnak szét, hanem a lágyabb anyagrészekben, a keményebb fém részecskéket szakít ki a puhább fémből. Ezeknek a kiszakadó daraboknak következtében nagymértékű méretváltozás, berágódás lehet a következménye. A súrlódási együttható értéke jellemzően nagy, elérheti akár a 4-6 értéket is. A magas súrlódási együttható érték miatt a kopás sebessége is nagy. Kent felületeken is előfordulhat, mint például belsőégésű motorokban indítás és leállítás során, amikor megszakad a hidrodinamikus réteg. [7] Az adhéziós kopást a 3. ábra szemlélteti.



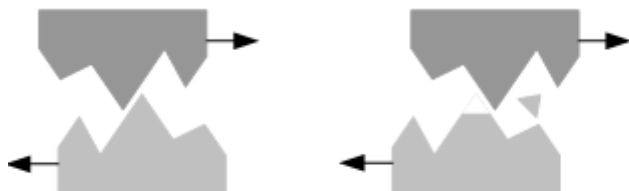
3. ábra Adhéziós kopási folyamat

3.3.2. Abráziós kopás

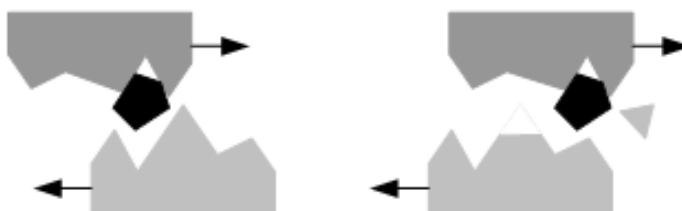
Abráziós kopás során megkülönböztetünk kéttest-abráziós kopást és háromtest-abráziós kopást. Kéttest-abrázió során a keményebb felület érdességcsúcsai barázdákat, karcolásokat hoznak létre a lágyabb anyag felületén, miközben mikroforgácsot választanak le róla.

Háromtest abrázió során a két felület közé kemény, abrazív anyag kerül, leggyakrabban por vagy levált kopásrész, esetleg lepergő oxidréteg szemcse. Ez a kemény anyag a lágyabb anyagba beágyazódva erőteljes kopást, helyi képlékeny alakváltozást okoz a keményebb anyagon. Gyakorlatban nagyon gyakran előforduló kopásforma, mert poros környezetben

dolgozó gépekbe könnyen kerülhet szilárd szennyező. Akkor is létrejöhet, ha nagy a keménység különbség az alkalmazott anyagpár között. A kéttest-abrázió folyamatát a 4. ábra, a háromtest-abrázió folyamatát az 5. ábra szemlélteti.



4. ábra Kéttest-abráziós kopás [8]



5. ábra Háromtest-abráziós kopás [8]

3.3.3. Fáradásos kopás

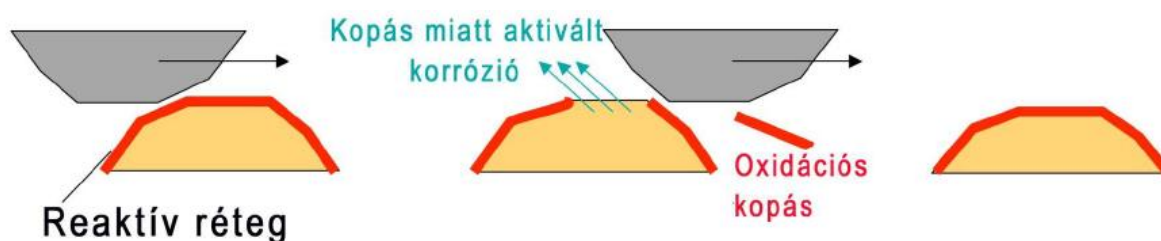
Jellemzően az alkatrészek ismétlődő gördülő mozgásától, dinamikus igénybevétel esetén figyelhető meg. Az ismétlődő igénybevétel hatására kifáradás keletkezik a felületi rétegen mikrorepedések formájában. Ezek a repedések tovaterjedése a felületi réteg felpattogzását, gödrösödést eredményez. Száraz és vegyes súrlódási állapotban előforduló normális elhasználódási folyamata a gépelemeknek, gördülősúrlódás során görgőscsapágyakban és fogaskerekben. Nagyban befolyásolják a környezeti tényezők a fáradásos kopás létrejöttét. Nedves, korrodáló környezetben gyorsabban játszódik le a kopásfolyamat. [7] A fáradásos kopás során károsult felületet a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra Fáradásos kopás

3.3.4. Tribokémiai kopás

Legfőképpen kenés nélkül működő szerkezetekre jellemző kopás. Levegővel érintkező súrlódó szerkezetek elhasználásakor leggyakrabban elforduló kopástípus. Súrlódás során az érintkező felületek környezetében magas hőmérséklet alakul ki, ami oxigén jelenlétében jelentősen megnöveli a felületek oxidációjának sebességét. A kialakuló oxidréteg védő oxidrétegnek is nevezhető, mert jelentősen csökkentheti a kopás sebességét és a hegedéses kopás valószínűségének mértékét. A kopás jellege nagyban függ a csúszási sebességtől és a terheléstől, valamint a tribológiai rendszer szerkezetétől. Nem kent súrlódó felületek kis terhelés esetén megengedhető kopásformája az enyhe oxidációs kopás. [9] Folyamatát a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra Tribokémiai kopás [5]

3.3.5. Fretting kopás

Kis amplitúdójú (0,001mm – 0,5mm) és nagy frekvenciájú (5-100Hz) rezgőmozgás során alakul ki. Jellemzője, hogy erős oxidáció kíséri és a kopástermékek a súrlódó felületek között visszamaradnak. Két szakasza különböztethető meg, amelyek a kezdeti és állandósult szakaszok. Kezdeti szakaszban adhézió jellemzi, állandósult szakaszban pedig állandó sebességű kopás. Ennek a kopásnak a sebességét befolyásoló tényezők a felületi terhelés, mozgás jellemzői és a súrlódó párok anyagainak tulajdonságai. A kopás sebességét növeli a nagyobb amplitúdójú mozgás, magasabb hőmérséklet, oxigén és páratartalom és terhelés. A fretting kopást a 8. ábra szemlélteti.



8. ábra Fretting kopás [5]

3.3.6. Eróziós kopás

Eróziós kopás során nem az egymással érintkező felületepárok hozzák létre a kopást, hanem a szilárd testhez ütköző részecskék által okozott abrúziós és fárasztó igénybevétel. Ebből következik, hogy főként szilárd részecskéket tartalmazó közegek szállításakor jön létre, például csővezetékben. Eróziós hatást okozhatják még becsapódó folyadékcseppek is. A kopás mértékét befolyásoló tényezők eróziós kopás során a részecskék mérete, sebessége, tömege és a becsapódás iránya, valamint az ütközésnek kitett anyag szilárdsága, keménysége, alakváltozó képessége és a becsapódó részecske tulajdonságai. [5] Az eróziós kopás hatását a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra Eróziós kopás [5]

3.3.7. Kavitációs kopás

A kavitációs kopás szilárd testek áramló folyadékkal érintkező felületein alakulhat ki. Kedvezőtlen áramlási viszonyok során a folyadékban oldott gázok buborék formájában kiválnak, majd nyomásváltozás hatására összeomlanak és erős folyadékütközéseket idéznek elő. A szilárd test felületén ez erős mechanikai igénybevételt okoz, aminek hatására repedések

és később lyukszerű kráterek alakulnak ki. A kialakuló nyomás akár az 1500bar értéket is elérheti. Kavitációs kopásnak kitett alkatrészek jellemzően: vezérlőszelepek utáni tér, szivattyúk szívókamrája, éles fordulatoknak és keresztmetszet csökkenés csővezetékekben. [5] A kavitációs kopás hatását a 10. ábra szemlélteti.



10. ábra Kavitációs kopás [5]

3.4. Kenés

A súrlódás és kopás csökkentésére a leghatékonyabb módszer a kenés alkalmazása. Leegyszerűsítve kenés során a súrlódó felületek közé kenőanyagot juttatunk, ami a szilárd testek felületeinek érintkezését gátolja, azoknak egymáson történő relatív elmozdulása során. Kenés alkalmazásával nagy mértékben csökkenthető, de teljes mértékben ki nem küszöbölhető a gépszerkezetek elhasználódási folyamata, valamint súrlódási veszteségük, kopásuk. A felsoroltakon túl a kenőanyagoknak fontos szerepe van a felületek hűtésében, tisztításában, tömítésében és korrózióvédelmében.

A tribológiai rendszerekben felépítésüktől függően más és más kenőanyagokat használunk melyek lehetnek halmazállapot szerinti megkülönböztetésben:

- folyadék halmazállapotú kenőanyag
- konzisztens kenőanyag
- gáznemű kenőanyag
- szilárd kenőanyag [10]

3.5. Kenési állapotok

Az egymáshoz képest relatív elmozdulást végző testek kenési állapotai a következők lehetnek:

- határkenés állapot
- vegyes kenésállapot
- elasztohidrodinamikai (EHD) kenésállapot
- hidrodinamikai kenésállapot

3.5.1. *Határkenés állapot*

Határkenés állapotban a kenőanyag réteg nem elegendő ahhoz, hogy elválassza egymástól a mozgó felületeket. A felületek közvetlenül érintkezhetnek ebben az állapotban, ami fokozott súrlódást és így fokozott kopást is eredményez.

3.5.2. *Vegyes kenésállapot*

Vegyes kenésállapotban a kenőanyag részben elválasztja a felületeket egymástól, de a nagyobb érdességcsúcsok esetében még mindig előfordul közvetlen érintkezés. A súrlódási tényező értéke ebben az esetben már alacsonyabb valamin a kopás is.

3.5.3. *Elasztohidrodinamikai kenésállapot*

Az elasztohidrodinamikai, vagy EHD kenésállapot egy speciális állapot, ami főleg nagy terhelések és magas nyomás mellett fordul elő. A kenőanyag réteg ebben az állapotban nagyon vékony és az érintkezési területeken rugalmas deformáció lép fel. Jellemzően gördülőcsapágyaknál és fogaskerekek érintkező felületei között lép fel. A súrlódási tényező ebben a kenésállapotban a legalacsonyabb.

3.5.4. *Hidrodinamikai kenésállapot*

Hidrodinamikai kenésállapotban az egymáshoz képest relatív elmozdulást végző felületek között olyan vastagságú kenőanyagfilm található, ami teljesen elválassza őket egymástól. Itt a legalacsonyabb a kopás, azonban a súrlódási tényező itt magasabb, mint EHD állapotban. Ez az állapot nevezhető kopás szempontjából a legideálisabbnak. Leginkább siklócsapágyakban és kis terhelésű hajtóművekben jellemző kenésállapot.

A fent felsorolt kenésállapotokat a 2. ábrán látható Stibeck-görbe szemlélteti.

4. Motorolajok

Belsőégésű motorok kenésére motorolajokat használunk. Ezek az olajok fontos szerepet játszanak a motor üzemeltetése során. Nélkülük nem lehetséges hatékonyan és gazdaságosan üzemeltetni hosszú ideig egy belsőégésű motort. Napjainkban egyre magasabb elvárásokat támasztanak a motorolajokkal szemben. Nagyobb terhelés és magasabb hőmérsékletű üzemelés mellett is biztosítani kell a berendezés védelmét, miközben üzemanyag takarékoságot, hosszabb olajélettartamot, kevesebb karbantartást, nagyobb teljesítményt és alacsonyabb károsanyag kibocsátást várunk el járműveinktől.

4.1. Főbb elvárások

A motorolajokkal szembeni két kulcs elvárás a reológia, más szóval a hideg és meleg körülmények között az az előírt folyási tulajdonságok és a teljesítményszint, mint például a kopásvédelem és súrlódás csökkentése.

Továbbá klasszikus feladatai közé tartozik az egymáson elmozduló alkatrészek kenése, teherviselő film biztosítása, valamint az égési és súrlódási hő elvezetése és a tömítés is, például a dugattyúgyűrű és hengerfal között. Ezen túl, csak adalékolással teljesíthető feladatai közé tartozik a motor belső részeinek tisztántartása, kopásvédelem, súrlódás csökkentése, korrózió elleni védelem, savas komponensek semlegesítése, habzás minimális szinten tartása és hosszú olaj élettartam biztosítása.

Felépítését tekintve a modern motorolaj 70-80% alapolajból és 20-30% adalékból tevődik össze.

4.2. Viskozitás

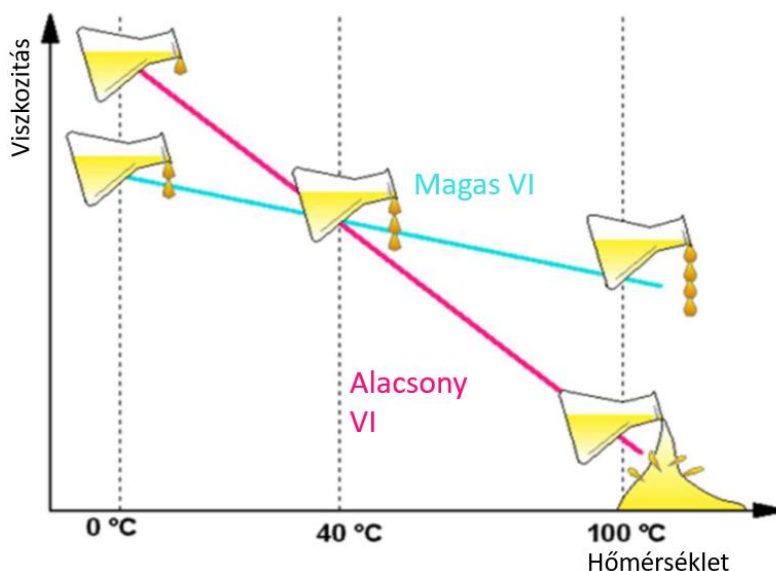
A viszkozitás egy kenőanyag legfontosabb paramétere. Egy folyadék viszkozitása megadja a belső ellenállását a csúsztató feszültséggel szemben. Megkülönböztetünk kinematikai és dinamikai viszkozitást. [11]

A dinamikai viszkozitás az az erő, amely ahhoz szükséges, hogy egymástól egységnyi távolságra lévő, egységnyi felületű folyadékrétegeket egységnyi relatív sebességgel elmozdítsunk. Jele a η , értéke pedig $\frac{\tau}{D}$, ahol a D a nyírás sebessége, τ pedig a nyírófeszültség.

A létrejövő feszültség pedig: $F_s = \eta * A * \frac{dv}{dx}$, ahol F_s a súrlódási erő, η a dinamikai erő, A a felület és $\frac{dv}{dx}$ pedig a sebesség gradiens. Mértékegysége pedig a mPa.s, vagy cP.

A kinematikai viszkozitás a dinamikai viszkozitás és a folyadék sűrűségének hányadosa. Jele a ϑ , értéke pedig $\vartheta = \frac{\eta}{\rho}$, ahol ϑ a kinematikai viszkozitás, η a dinamikai viszkozitás és ρ pedig a sűrűség. Mértékegysége pedig $\frac{mm^2}{s}$, vagy cSt.

A viszkozitásiindex a viszkozitás változásának mértékét mutatja meg a hőmérséklet változásával. Minél alacsonyabb a VI, annál nagyobb az olaj viszkozitásának változása a hőmérséklettel, és fordítva. A viszkozitásiindexet a 11. ábra szemlélteti.



11. ábra Viszkozitás index [11]

4.3. Motorolajok viszkozitás szerinti osztályozása

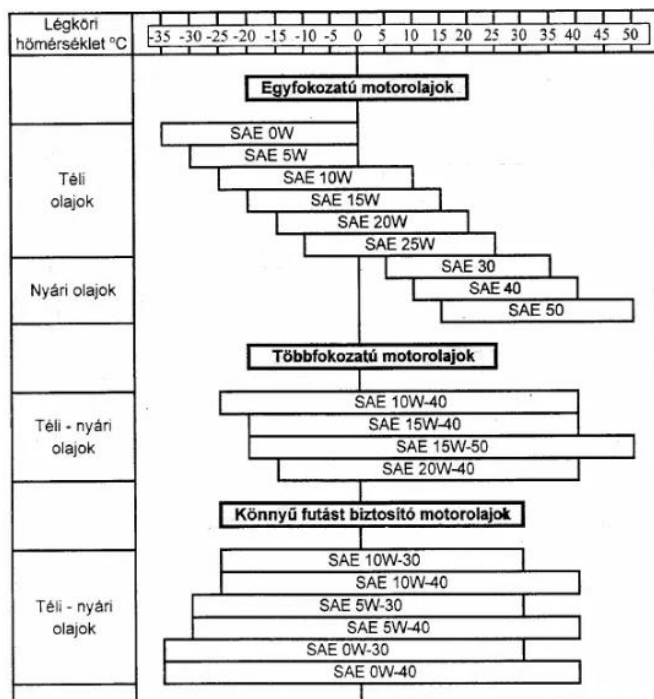
A kenőanyag viszkozitás szerinti osztályozása a kenési funkciójának ellátásához szükséges tulajdonságok szerint kategorizál. A viszkozitási fokozatokat először az SAE (Society of Automotive Engineers) dolgozta ki 1926-ban. Az SAE J300-as táblázat mutatja be a viszkozitási osztályozást, amely a 12. ábrán látható.

SAE viszkozitás osztály	Látszólagos (dinamikai) viszkozitás		Alacsony hőmérsékletű viszkozitás Szivattyúzhatósá- gi határ		Kinematikai viszkozitás 100 °C-on		Magas hőmérsékletű nagy nyírási gradiensű viszkozitás 150 °C-on, 10 ⁶ 1/s
	mPa·s °C-on max.		mPa·s °C-on max.		mm ² /s min. max.		mPa·s min.
0W	3250	-30	30000	-35	3.8	-	-
5W	3500	-25	30000	-30	3.8	-	-
10W	3500	-20	30000	-25	4.1	-	-
15W	3500	-15	30000	-20	5.6	-	-
20W	4500	-10	30000	-15	5.6	-	-
25W	6000	-5	30000	-10	9.3	-	-
20	-	-	-	-	5.6	9.3	2.6
30	-	-	-	-	9.3	12.5	2.9
40	-	-	-	-	12.5	16.3	2.9*/3.7
50	-	-	-	-	16.3	21.9	3.7
60	-	-	-	-	21.9	26.1	3.7

12. ábra SAE J300 szerinti viszkózitás osztályozás [12]

A motorolajok lehetnek egyfokozatúak (monograde) vagy többfokozatúak (multigrade), attól függően, hogy egy vagy két viszkózítási osztály előírásait teljesítik.

Az egy és többfokozatú motorolajok viszkózításának változását a hőmérséklet függvényében a 13. ábra szemlélteti.



13. ábra Egy és többfokozatú motorolajok viszkózításának változása hőmérséklet függvényében [12]

4.4. Motorolajok teljesítményszint szerinti osztályozása

A teljesítményszint szerinti osztályozások fékpadi vizsgálati módszereken alapulnak. A fékpadi vizsgálatok során több minősítő módszert dolgoztak ki, amelyek segítségével jellemzik a motorolajoktól megkívánt hatékonysági követelményeket, teljesítményszinteket. [12]

4.4.1. API rendszer

Nemzetközileg a legismertebb osztályozási rendszer az API (American Petrol Institute). Ebben a rendszerben két féle jelzést használnak az olajokra:

- „S” jelzésű osztály a benzinmotorok motorolajait foglalja magába (SA...SP, amelyből manapság aktuális kategória: SL...SP)
- „C” jelzésű osztály a dízelmotorok motorolajait tartalmazza (CA...CK-4, amelyből manapság aktuális kategória: CH-4...CK-4). Valamint egy a dízel motorolajokhoz tartozó, üzemanyag takarékos, a korábbiak során felsoroltakhoz képest alacsonyabb HTHS viszkozitással rendelkező kategória az API FA-4. [11]

4.4.2. ACEA és CCMC rendszer

Az amerikai API rendszer mellett szükség volt egy európai teljesítményszint szerinti besorolásra is. Elsőként a CCMC (Comité des Constructeurs d'Automobiles du Marché Commun) szervezete hozta létre, majd ezt az ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles) váltotta fel. Egy része megegyezik az API vizsgálati módszereivel. [12]

Kategóriák:

- A sorozat (személyautók, benzinmotor): A1...A7, melyekből aktuális: A3, A7
- B sorozat (személyautók, diesel motor): B1...B7, melyekből aktuális: B4, B7
- C sorozat (személyautók, benzin és diesel motor, részecskeszűrővel): C1...C6, melyekből aktuális: C2...C6
- E sorozat (teherautók): E2...E11, melyekből aktuális: E7, E4, E11, E8 [11]

4.4.3. Gépgyártói teljesítményszintek (OEM)

Az ACEA és API besorolás szerinti rendszerek mellett nagyrészt a motor és gépkocsi gyártó cég a saját motorjaihoz saját motorolaj minősítési rendszert és előírásokat fejlesztett ki, amelyek jellemzően magasabb követelményeket támasztanak, mint a korábban megnevezett szervezetek által kiadott specifikációk. A legtöbb olajtársaság a termékeit ezekre a gépkocsi gyártó cégek által kiadott specifikációkra is elfogadtatja a nemzetközi szabványok betartása mellett is.

Ilyen OEM (Original Equipment Manufacturer) előírások például:

- személygépjármű: VW 508 00/509 00, MB 229.52, Renault RN17, PSA B71 2010,
- tehergépjármű: Volvo VDS-5, MAN M3977, Scania LDF-5, Cummins CES 20087

4.5. Motorolajok összetétele

4.5.1. Alapolajok

A motorolajok alapolaj szerint 5 csoportba sorolható, Group I.-től Group V.-ig. Felfelé haladva folyamatosan javul az olaj teljesítménye, hidegoldali viszkozitása és egyéb tulajdonságai. Az alapolajok szerinti csoportosítást az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat. Alapolajok tulajdonságai

Szempont	Group I.	Group II.	Group III.	Group IV.	Group V.
Teljesítmény	Alacsony	Közepes	Közepes/Magas	Magas	Magas
Bázisolaj	Ásványi	Hidrogénezett ásványi	Hirdokrakk	Polialfa-olefinek (PAO)	Észter
Viszkozitás index	Alacsony	Közepes	Közepes/Magas	Magas	Magas
Hidegoldal	Gyenge	Megfelelő	Közepes	Jó	Kiváló

4.5.2. Adalékok

Adalékok nélkül az alapolaj nem lenne képes az összes kenési feladat ellátására a motorban. Alapolajjal az alábbi alapvető feladatok elláthatóak mint például: kenés, teherviselő film biztosítása, hűtés, tömítés.

Az adalékolás célja az alapolaj meglévő tulajdonságainak javítása, előnytelen tulajdonságok visszaszorítása és új tulajdonságok biztosítása. Meglévő tulajdonság javítására példa a folyáspont csökkentése és a viszkozitási tulajdonságok javítása. Előnytelen tulajdonság visszaszorítására példa az oxidációgátlás és habzás csökkentése. Új tulajdonságokra példa a súrlódás csökkentése határkenés állapotban és belső részek tisztántartása. Ezért nagyon fontos a motorolajok fejlesztése során a megfelelő adalékok használata pontosan megválasztott mennyiségben, mivel a kívánt alkalmazáshoz igazítható a kenőanyag fizikai kémiai paramétereit és reológiai tulajdonságait.

Megkülönböztetünk aktív és inaktív adalékokat. Az inaktív adalékok a folyási tulajdonságokat (reológiát) befolyásolják, az aktív adalékok a felülethez kötődve végzik a számukra kitüntetett feladatokat.

Inaktív adalékok:

- folyáspont csökkentő
- viszkozitás módosító

Aktív adalékok:

- kopáscsökkentő
- súrlódásmódosító
- detergens
- diszpergens
- EP
- korrózió gátló
- habzásgátló

5. Probléma bemutatása

5.1. Koromtartalom és hatása

A belsőégésű diesel üzemű motorok üzemelése során nem lehet 100%-ig tökéletesen elégetni a tüzelőanyagot. Az égés egyik fő mellékterméke a korom, melyek ugyan nagyon kisméretű részecskék, de nagy mennyiségben a motorolajba kerülve ott agglomerálódhatnak és lerakódhatnak egyes felületeken nagyobb koromrészecskék formájában. A korom több módon kerülhet a motorolajba. Egyik módja a dugattyúgyűrű és hengerfal közötti gáz átfúvásnál (blow-by gas) való bejutás vagy a hengerfalon való lerakódás, amit a dugattyúgyűrűk üzemelés során szintén a motorolajba juttatnak.

Másik fő forrása a korom szennyezésnek a diesel motorokban már általánosnak nevezhető EGR (Exhaust Gas Recirculation) szelep. Ez a szelep a kipufogógáz egy részét visszajuttatja az égéstérbe, a motor terhelési állapotától függően. A szelep jellemzően nem dús keverékes üzemben pl: alapjárat, bemelegedési fázis, teljes terhelés, hanem részterhelésen vezet vissza kipufogógázt a belsőégésű motor szívó csatornájába, melynek célja az emisszió javítása, valamint az égéshő csökkentésével hozzájárulva a káros nitrogén-oxidok (NOx) mennyiségének minimalizálása.

A korom, mint szennyező jelen van normál üzemelés közben is, azonban sok más tényező is befolyásolja a mennyiségét. Ilyen például a tüzelőanyag minősége, az üzemelési körülmények pl: belvárosi üzem, műszaki hiba, pl: rossz befecskendező, nyitott állapotban megszorult EGR szelep, valamint bizonyos motorgyártói konstrukciós kialakítások is pl: centrifugál szűrő hiánya. A normál mértékűnél magasabb korom szennyezettséget a motorolaj bizonyos mértékig kezelni tudja a benne található detergens és diszpergens adalékok segítségével. A MOL-LUB Kft-nél végzett LubCheck olajvizsgálatok során a gyakorlatban használatos határértékek szerint 4,8% felett figyelmeztető, 8% felett súlyosnak tekinthető a szennyezettség mértéke.

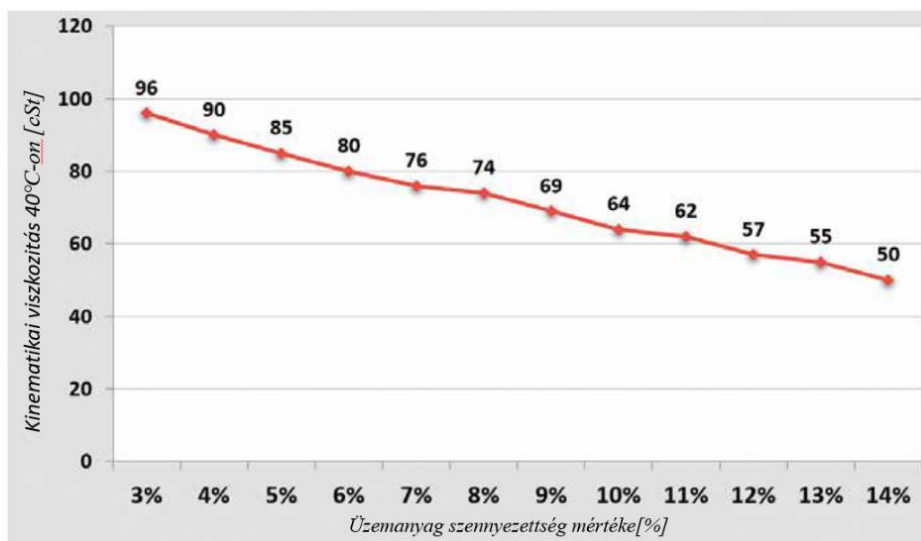
A túl magas koromtartalom negatívan hat az olaj viszkozitására, valamint egyéb motoralkatrészek állapotára. A motorolaj viszkozitását növeli, így magasabb viszkozitású olaj magasabb üzemelési hőmérsékletet eredményez amely negatív hatással van a gondosan beállított motor ideális üzemére. Felgyorsítja a motor kopását is, egyrészt mert szilárd szennyezőként jelen van, másrészt a megnövelt viszkozitás, nem üzemileg állapotban csökkenti a motorolaj szivattyúzhatóságának a hatásfokát, így az később tudja ellátni a kenési

feladatát a konstrukcióban tervezettekénél. Valamint, ha már nagyon magas mennyiségben jelen van, képes a vékony keresztmetszetű olaj szállítására dedikált furatok letömítésére is, ezzel kenési elégtelenséget okozva, sőt hosszú üzemelés mellett az olajszűrő eltömítése is bekövetkezhet, aktiválva annak bypass ágát, ami szintén nagyban felgyorsítja a kopási folyamatot. A szakdolgozat témáját adó OM 936 motorkódú motornál a rendellenesen működő EGR szelep esetén a korom nem csak a motorolajban, hanem az üzemanyag tank falán kicsapódva is megjelenik. Valamint a DPF (Diesel Particulate Filter) szűrő élettartamára is negatív hatással van, idő előtt eltömődhet.

5.2. Üzemanyagtartalom és hatása

Normál üzemelés során a motorolajba juthat üzemanyag is. Ennek a mértéke a MOL-LUB Kft. LubCheck olajvizsgálat során a gyakorlatban a következő határértékeket veszi figyelembe: 3% felett figyelmeztető és 6% felett pedig súlyosnak tekinthető a szennyezettség mértéke.

Az üzemanyag szennyezés negatív hatással van a motorolaj kinematikai viszkozitására. Mivel a diesel üzemanyag kinematikai viszkozitása (2-5cSt) jóval alacsonyabb az OM 936 motorkódú motorban előírt 10W-40-es motorolajnál (~90 cSt, 40°C) ezért már kis mennyiség is szignifikáns mértékű csökkenést okozhat. Ettől a csökkenéstől a kenőanyag filmréteg vastagsága csökken, vele együtt a teherviselő képessége is, amely kenési elégtelenséget okozhat. Ezen túl a kenőanyag specifikus funkcióit ellátó adalékokat is hígítja, csökkentve azoknak a hatásfokát is, valamint a detergens tartalékát kimerítve később korróziós folyamatok is elindulhatnak a rendszerben. Valamint a diesel üzemanyagok biokomponens tartalma is nagyban rontja a motorolaj állapotát, ugyanis míg a diesel üzemanyag üzemi hőmérsékleten képes szinte teljes mértékben kipárologni a motorolajból, addig ezek az összetevők tovább jelen maradhatnak, ezzel is csökkentve a kenőanyag 40°C-os viszkozitási értékét. Az üzemanyag szennyezés és a viszkozitás csökkenés összefüggését a 14. ábra szemlélteti 15W-40-es viszkozitású olaj esetében.



14. ábra - üzemanyag szennyezés és motorolaj viszkozitás összefüggése [13]

5.3. Fenntartási nehézségek

Az autóbuszoknak folyamatos rendelkezésre állást kell biztosítaniuk. Ezért nem csak egy nem tervezett javítás költsége, hanem az emiatt kiesett idő is negatív hatású. Több műszaki rendellenesség és meghibásodás is jelen van egyszerre. Ilyen alacsony, sokszor 100.000 km alatti futásteljesítmény mellett is előfordulnak porlasztó meghibásodások, eltömődő EGR szelepek, amik miatt kiesés keletkezik. Jelenleg még garancia időn belüli meghibásodásnak minősül a porszaltó meghibásodás, azonban ennek elhárításához márkaszervizbe kell szállítani az autóbust. Azonban a meghibásodások miatt legtöbb esetben a motorvezérlő csökkenti a motor teljesítményét, így nehézkes a szállítás. Valamint a garanciális javítás jellemzően 4-8 nap kiesést jelent és csak az 1 darab, hibás porlasztó kerül cserére. Ennek a hibának az észlelése műhelyben való rendszeres átvizsgáláson kívül nagyban az autóbusz sofőrjén múlik. Sok esetben ezt nem észlelve az autóbusz meghibásodott porlasztóval is üzemelhet bizonyos ideig.

Valamint az alacsony futásteljesítmény mellett már jelen van a feltöltőrendszer elemeiben a motorolaj annak ellenére, hogy a turbófeltöltő tengelyének lógása nem nevezhető a motorolaj mennyiségével párhuzamosan kritikusnak. Az EGR szelepek meghibásodásai is gyakran mondhatók. A kelenföldi autóbuszgarázsban fellelhető 25 OM936 kódú motorral szerelt autóbusznál, új koruk óta eddig több mint 50 meghibásodás történt. Ezek először jellemzően 70.000km-es futásnál jelentkeznek először. Nyitott állapotban megszorulva teljesítményvesztést okoz, így pedig nem tudja megfelelően ellátni a jármű a feladatát.

Tisztítással rövid ideig orvosolható a probléma, de utána jóval kisebb futás után már csak a csere a megfelelő megoldás. A tisztítás jó közelítéssel 1,5-2 órát vesz igénybe és egy szerelő szükséges hozzá. Szükséges hozzá egy nagy teljesítményű ultrahangos mosó, ipari mosószer és EGR tisztító spray. A korommal szennyezett EGR szelep az alábbi ábrán látható:



15. ábra: Meghibásodott EGR szelep

Mindezek mellett egy másik probléma is fennáll, hogy az üzemanyag tartályba korom jut be, ami annak a falára feltapadva lerakódik. Feltehetőleg a common-rail szivattyú lehet ennek a forrása, amelynek a motorolaj végzi a kenését. Ez viszont szennyezi az üzemanyagot, ezzel is rontva a hibátlan üzemelést. A magas koromtartalom, ami ennek a szakdolgozat témájának az alapja, itt még nagyobb esélyben juttathat be kormot az üzemanyag rendszerbe, amennyiben ez a forrása. A problémát az alábbi képen láthatjuk:



16. ábra Korommal szennyezett üzemanyag tank belső felülete

6. Célkitűzések megvalósítása, a probléma bemutatása

6.1. Lubcheck

A Lubcheck egy diagnosztikai eljárás, mely világszerte használatos. Az olajminták vizsgálatán alapuló gépállapot-figyelés a gépekkel kölcsönhatásban lévő kenőanyagokon keresztül nyújt hasznos információkat. A kenőanyagok magukon viselik a motorok, hajtóművek és egyéb rendszerek üzemszerű vagy rendellenes működésének nyomait.

Ezekkel az olajvizsgálatokkal figyelemmel kísérhetjük a gépek állapotát vagy akár tudomást szerezhetünk az esetleges kezdődő meghibásodásokról, amivel megelőzhetjük a gép károsodását, valamint nem kívánatos kiesését. Így az üzemeltetés költségeit csökkenthetjük, mivel az olajok vizsgálatának költségei általában lényegesen alacsonyabbak, mint egy súlyos meghibásodás során károsult gép javításának a költségei.

LubCheck által nyújtott előnyök: [14]

- már a korai szakaszban felismerhetőek a rejtett károsodási folyamatok
- feltárja a sokszor más módon nem észlelhető, rejtett károsodási folyamatokat
- csökkenthető az állásidő és karbantartási költség, nő a megbízhatóság
- tervezhetőbbé és pontosabbá válik a karbantartás
- optimalizálható az olaj és hűtőfolyadék csereciklusa

6.2. Vizsgálati módszerek és határértékek

Az olajvizsgálati jelentés több szekcióból tevődik össze. Ezekből a legfontosabbak a diagnosztika által, az elvégzett vizsgálatok alapján a gép állapotáról kiállított írásos szakvélemény a hozzá tartozó ajánlással, mely az olajállapotot jellemző értékek, a szennyeződések jelenlétét leíró értékek és a kopásfémek mennyiségét jellemző értékekből kerül kiállításra.

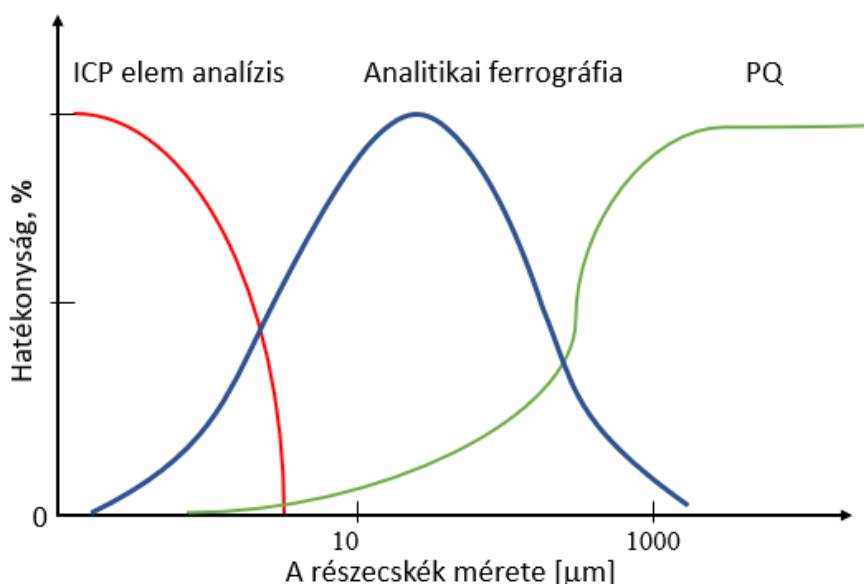
A szakdolgozatnak témát adó, motorolaj vizsgálati csomag során használatos, a konklúzió levonásához szükséges legfontosabb vizsgálatokat és azok határértégeit az alábbi, 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat LubCheck motorolaj vizsgálat és határértékei

	Mértékegység	Határérték - figyelmeztető	Határérték - súlyos	Szabvány
Olajállapot				
Kinematikai viszkozitás 40°C-on	mm ² /s	SAE J300 -20/+25%	SAE J300 -25/+30%	ASTM D 7279-20
Kinematikai viszkozitás 100°C-on	mm ² /s	SAE J300 -20/+20%	SAE J300 -25/+25%	ASTM D 7279-20
Szennyeződés				
Üzemanyag tartalom	fokozat	Pozitív	Pozitív	MOL-LUB M-58:2023
Üzemanyag tartalom	%(m/m)	3%	6%	ASTM D 3524-14(2020)
Víztartalom	fokozat	Pozitív	Pozitív	MOL-LUB M-61:2023
Hűtőfolyadék	fokozat	Pozitív	Pozitív	MOL-LUB M-66:2023
Na-tartalom	mg/kg	30	50	ASTM D 5185-18
K-tartalom	mg/kg	20	25	ASTM D 5185-18
Si-tartalom	mg/kg	20	40	ASTM D 5185-18
Koromtartalom	%	4,8	8	ASTM D 7899-24
Kopás				
Al-tartalom	mg/kg	13	20	ASTM D 5185-18
Cu-tartalom	mg/kg	36	50	ASTM D 5185-18
Fe-tartalom	mg/kg	75	100	ASTM D 5185-18
Pb-tartalom	mg/kg	31	40	ASTM D 5185-18
Sn-tartalom	mg/kg	9	15	ASTM D 5185-18
Kopás index (PQ)		100-150	>150	MOL-LUB M-57:2023

6.3. Ferrográfia

Az alap vizsgálati sorhoz extraként analitikai ferrográfiai vizsgálatot is végeztünk MOL-LUB M-56:2023 szabvány szerint, hogy a koromtartalom túl a motorban található kopásfémek mennyiségét és fajtáját is vizsgálni tudjuk. Erre azért is van szükség, mert az ICP-vel (induktív kapcsolású plazma) történő elemtartalom meghatározásnak (ASTM D 5185-18) vannak korlátjai. Egy bizonyos méret felett már nem lehet vele meghatározni pontosan a kopásfémek mennyiségét, valamint arra abszolút nem ad választ, hogy milyen fajta kopásból származhatnak a részecskék, ami segíthet abban, hogy az eddigi tapasztalatok alapján a származási helye is beazonosítható legyen a mintázott berendezéshez köthetően. Az ICP vizsgálat és ferrográfiai vizsgálat, valamint a kopásindex (PQ) jellemzőit a 15. ábra mutatja be.



17. ábra Analitikai vizsgálatok hatékonysága

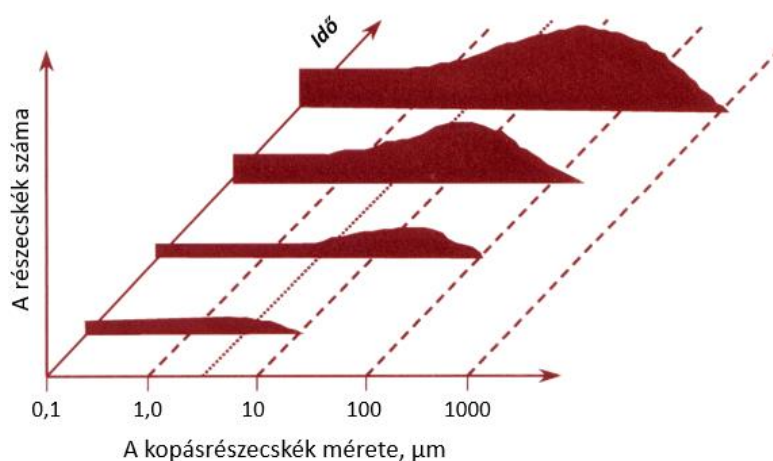
Ferrográfias vizsgálat során oldószerben feloldott olajmintát juttatunk egy üvegből készült tárgylemezre, ami mágneses erőterbe van helyezve. Ott a tárgylemez forgó mozgása miatt a feloldott kenőanyag távozik a lemeztől, a mágnesezhető fémek viszont a mágneses erőter hatására a tárgylemezen maradnak. Ezeken fennakadnak a nem mágnesezhető fémek is.

A MOL-LUB Kft-nél alkalmazott ferrográfias vizsgálat menete:

- vizsgálandó minta előkészítése, olaj feloldása petroléterben, zsírok pedig toluol és hexán keverékében

- forgó tárgylemezre juttatás, majd maradék kenőanyag tiszta oldószerrel való eltávolítása
- részecskék vizuális vizsgálata kisebb nagyítástól a nagyobb nagyítás felé haladva
- dokumentáció mikroszkópos fotózással
- dokumentáció alapján kiértékelés és ajánlás tétel

A kiértékelés során figyelembe vesszük a berendezés típusán túl annak futásteljesítményét, konstrukcióját, üzemelési körülményeit. Kiértékelés során ezek alapján figyelembe vesszük a részecskék méretét, valamint azoknak irányba állását. A méreten túl a kopásrészek alakja segít abban, hogy jó közelítéssel beazonosítsuk a kopás fajtáját. Hőkezeléssel a kopásfémek színváltozásán keresztül jó közelítéssel lehet következtetni a berendezés ismeretében azoknak származási helyéről, pl: gyengén ötvözött acél: kék szín, betétben edzhető acél: lila szín, közepesen ötvözött acél: bronz szín, erősen ötvözött acél: fehér szín. A mágnesezhető részeken fennakadó egyéb, nem mágnesezhető fémek is előfordulhatnak rendezetlen formában, mint például: réz, alumínium, cink, króm, ón alapú ötvözetek. Valamint a szennyezők is jól beazonosíthatók, például vízzel való szennyezés esetén vörös oxidok jelennek meg. A kopásrészek mennyisége természetesen a konstrukció ismeretében jó közelítést ad a berendezés kopásállapotának előrehaladottságáról, amit az alábbi ábra szemléltet a kezdődőtől a katasztrofálisig:



18. ábra Kopásállapot előrehaladottságának összefüggése a kopásrészek mennyiségével

6.4. Eredmények

A vizsgálatokban résztvevő buszok olajmintáinak Lubcheck eredményei külön-külön lesznek bemutatva és részletezve. Az összes vizsgált autóbuszban a motorolaj MOL Dynamic Mistral 10W-40 volt a vizsgálatok előtt, a vizsgálatok során és a vizsgálatok alatt is. Ez a motorolaj teljesíti a DTFR 15C110 (korábban MB 228.51) specifikációt és gyártói jóváhagyással is rendelkezik.

6.4.1. 0 km-es referencia mintavételek eredményei

Az alábbi, 19. ábrán az AADI-605 rendszámú autóbusz 0-km-es futásteljesítményű olajvizsgálati jelentése látható. Jól látható a mérési eredményekből, hogy a kinematikai viszkozitás értékei megfelelnek az előírtaknak. Szennyeződés szempontjából a korom és az üzemanyag tartalom alacsony. Egyéb szennyező az olajmintában nem található. A kopásfémek tekintetében semmi rendellenes sem látható, nagyon alacsony szintet mutatnak.

Olajállapot		
Kinematikai Viskozitás, 40 °C	mm ² /s	91
Kinematikai Viskozitás, 100°C	mm ² /s	13,7
Viszkozitás Index		153
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1800
-Mg tartalom	mg/kg	368
-P tartalom	mg/kg	688
-Zn tartalom	mg/kg	770
-S tartalom	mg/kg	2199
-B tartalom	mg/kg	441
-Mo tartalom	mg/kg	82
Diszpergencia		99
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víz tartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	<1
-K tartalom	mg/kg	1
-Si tartalom	mg/kg	7
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	0,6
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	0,4
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	3
-Cr tartalom	mg/kg	<1
-Cu tartalom	mg/kg	<1
-Fe tartalom	mg/kg	4
-Mn tartalom	mg/kg	<1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	<1
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		16
Víz tartalom (Kemencés KF)	mg/kg	766
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

19. ábra AADI-605 rendszámú autóbusz 0 km-es olajmintája

Az alábbi 20. ábrán az AADI-586 rendszámú autóbusz 0-km-es futásteljesítményű olajmintájának a vizsgálati eredményét láthatjuk. Hasonlóan az előző mintához, itt is teljesen megfelelő az olaj viszkozitása. A szennyezőanyag tartalom alacsony, korom és üzemanyag tartalom minimális. A kopásfém tartalma alacsony.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	96
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	14,3
Viszkozitás Index		154
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1922
-Mg tartalom	mg/kg	385
-P tartalom	mg/kg	734
-Zn tartalom	mg/kg	829
-S tartalom	mg/kg	2420
-B tartalom	mg/kg	472
-Mo tartalom	mg/kg	89
Diszpergencia		97
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víz tartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	1
-K tartalom	mg/kg	2
-Si tartalom	mg/kg	10
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	0,7
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	0,2
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	3
-Cr tartalom	mg/kg	<1
-Cu tartalom	mg/kg	<1
-Fe tartalom	mg/kg	5
-Mn tartalom	mg/kg	<1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	<1
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		15
Ferrográfia		kész
Víz tartalom (Kemencés KF)	mg/kg	956
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

20. ábra AADI-586 rendszámú autóbusz 0 km-es olajmintája

6.4.2. 10.000 km-es mintavételek eredményei

Az alábbi 21. ábrán látható az AADI-605 rendszámú autóbusz 10.000km-es olajmintavétel vizsgálati eredménye. A kinematikai viszkozitás értéke megfelelő értéket mutat. A szennyezőanyag tartalomnál látható, hogy a koromtartalom már 3,3% de még a figyelmeztető határtérték, 4,8% alatt van. Az üzemanyag tartalom is emelkedett 1,2%-ra de még az is a 3%-os határérték alatt van. Kopásfém szempontjából is látható enyhe növekedés, de még határértéken belüli értékeket kaptunk.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	88
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	14
Viszkozitás Index		164
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1863
-Mg tartalom	mg/kg	394
-P tartalom	mg/kg	700
-Zn tartalom	mg/kg	811
-S tartalom	mg/kg	2259
-B tartalom	mg/kg	347
-Mo tartalom	mg/kg	87
Diszpergencia		93
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víztartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	1
-K tartalom	mg/kg	4
-Si tartalom	mg/kg	15
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	3,3
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	1,2
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	7
-Cr tartalom	mg/kg	<1
-Cu tartalom	mg/kg	3
-Fe tartalom	mg/kg	30
-Mn tartalom	mg/kg	<1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	<1
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		16
Ferrográfia		kész
Víztartalom (Kemencés KF)	mg/kg	763
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

21. ábra AADI-605 rendszámú autóbusz 10.000 km-es olajmintája

Az alábbi 22. ábrán az AADI-586 rendszámú autóbusz 10.000km-es olajmintájának vizsgálati eredménye látható. Hasonlóan az előbbi mintához itt is megfelelő értéket mutat a kinematikai viszkozitás értéke. Szennyezőanyag tartalom szempontjából ennél a járműnél alacsonyabb értékeket láthatunk. Jelen esetben a koromtartalom és az üzemanyag tartalom csak 1,3% és 0,5%. Kopásfém tartalom szempontjából is alacsonyabb értékek születtek, ami jól mutatja, hogy az olaj itt még szinte tökéletes állapotban van.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	91
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	13,6
Viszkozitás Index		151
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1928
-Mg tartalom	mg/kg	398
-P tartalom	mg/kg	731
-Zn tartalom	mg/kg	831
-S tartalom	mg/kg	2416
-B tartalom	mg/kg	416
-Mo tartalom	mg/kg	90
Diszpergencia		94
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víztartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	1
-K tartalom	mg/kg	2
-Si tartalom	mg/kg	8
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	1,3
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	0,5
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	4
-Cr tartalom	mg/kg	<1
-Cu tartalom	mg/kg	2
-Fe tartalom	mg/kg	7
-Mn tartalom	mg/kg	<1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	<1
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		16
Ferrográfia		kész
Víztartalom (Kemencés KF)	mg/kg	539
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

22. ábra AADI-586 rendszámú autóbusz 10.000 km-es olajmintája

6.4.3. 20.000 km-es mintavétel eredményei

Az alábbi 23. ábrán az AADI-586 rendszámú autóbusz 20.000 km-es olajmintájának az eredményei láthatók. A kinematikai viszkozitás jelen esetben is megfelelő értékű. Szennyezőanyag tartalom esetében jól látható, hogy a koromtartalom növekedett 1,3%-ról 2,4%-ra, de még a figyelmeztető határérték alatt van jócskán. Üzemanyag tartalom szempontjából minimális növekedés volt észlelhető. A kopásfém tartalom is enyhén növekedett, de még jóval a figyelmeztető határérték alatti értéket mutat.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	93
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	13,7
Viszkozitás Index		149
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1830
-Mg tartalom	mg/kg	372
-P tartalom	mg/kg	690
-Zn tartalom	mg/kg	805
-S tartalom	mg/kg	2223
-B tartalom	mg/kg	293
-Mo tartalom	mg/kg	86
Diszpergencia		97
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víz tartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	1
-K tartalom	mg/kg	3
-Si tartalom	mg/kg	10
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	2,4
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	0,6
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	6
-Cr tartalom	mg/kg	<1
-Cu tartalom	mg/kg	2
-Fe tartalom	mg/kg	14
-Mn tartalom	mg/kg	<1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	<1
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		16
Ferrográfia		kész
Víz tartalom (Kemencés KF)	mg/kg	584
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

23. ábra AADI-586 rendszámú autóbusz 20.000km-es olajmintája

6.4.4. 30.000 km-es mintavételek eredményei

Az alábbi 24. ábrán az AADI-609 rendszámú autóbusz 30.000km-es olajmintájának eredménye alapján a kinematikai viszkozitás értékei megfelelő értéket mutatnak. Szennyezőanyag szempontjából megfigyelhető a Si-tartalom növekedése, ami éppen a figyelmeztető határérték aló határát haladja meg. Ennél fontosabb viszont a koromtartalom. A 20.000km-es olajmintákhoz képest jól látható ugrásszerű növekedés következett be. Ennek az értéke a súlyos, 8%-os határérték éppen alsó határán van. Ezzel párhuzamosan az üzemanyag tartalom is növekedett, jelen esetben 3,4%, ami meghaladja a figyelmeztető 3%-os alsó határt. Kopásfém tartalom szempontjából további növekedés figyelhető meg, de még figyelmeztető határértéken belül.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	91
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	14,1
Viszkozitás Index		160
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1633
-Mg tartalom	mg/kg	410
-P tartalom	mg/kg	675
-Zn tartalom	mg/kg	780
-S tartalom	mg/kg	2126
-B tartalom	mg/kg	146
-Mo tartalom	mg/kg	79
Diszpergencia		98
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víztartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	3
-K tartalom	mg/kg	12
-Si tartalom	mg/kg	21
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	8
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	3,4
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	11
-Cr tartalom	mg/kg	<1
-Cu tartalom	mg/kg	14
-Fe tartalom	mg/kg	68
-Mn tartalom	mg/kg	<1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	2
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		17
Ferrográfia		kész
Víztartalom (Kemencés KF)	mg/kg	795
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

24. ábra AADI-609 rendszámú autóbusz 30.000km-es olajmintája

Az alábbi 25. ábrán az AADI-610 rendszámú autóbusz 30.000km-es olajmintájának eredményei láthatóak. Az előző 30.000km-es olajmintához hasonlóan itt is megfelelő értékű a kinematikai viszkozitás. Szennyezőanyag szempontjából itt a Si-tartalom pontosan a figyelmeztető határérték aló határán, 20ppm-es értéket mutat. Érdekesebb viszont a koromtartalom, ami itt már a súlyos, 8%-os határértéket meghaladva 9,6%-ot mutat, ami már egyértelműen magasnak tekinthető. Kopásfém tartalom szempontjából a másik, ugyan ekkora futásteljesítményű olajhoz viszonyítva szinte teljesen megegyező értékeket láthatunk, jelen esetben is még a figyelmeztető határértéken belül.

Olajállapot			
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	95	
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	14,6	
Viszkozitás Index		160	
ICP vizsgálat			
-Ba tartalom	mg/kg	<1	
-Ca tartalom	mg/kg	1597	
-Mg tartalom	mg/kg	428	
-P tartalom	mg/kg	675	
-Zn tartalom	mg/kg	788	
-S tartalom	mg/kg	2104	
-B tartalom	mg/kg	119	
-Mo tartalom	mg/kg	77	
Diszpergencia		96	
Szennyeződés			
Üzemanyag tartalom	fokozat	N	
Víz tartalom	fokozat	N	
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív	
ICP vizsgálat			
-Na tartalom	mg/kg	4	
-K tartalom	mg/kg	12	
-Si tartalom	mg/kg	20	
-Li tartalom	mg/kg	<1	
Koromtartalom	%	9,6	
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	3,2	
Kopás			
ICP vizsgálat			
-Al tartalom	mg/kg	9	
-Cr tartalom	mg/kg	<1	
-Cu tartalom	mg/kg	17	
-Fe tartalom	mg/kg	70	
-Mn tartalom	mg/kg	<1	
-Ni tartalom	mg/kg	<1	
-Pb tartalom	mg/kg	<1	
-Sn tartalom	mg/kg	2	
-Ag tartalom	mg/kg	<1	
-Ti tartalom	mg/kg	<1	
-V tartalom	mg/kg	<1	
Kopás index (PQ)		17	
Ferrográfia		kész	
Víz tartalom (Kemencés KF)	mg/kg	1269	
ICP vizsgálat			
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90	
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)			
90: Fekete			

25. ábra AADI-610 rendszámú autóbusz 30.000km-es olajmintája

6.4.5. 40.000 km-es mintavételek eredményei

Az alábbi 26. ábrán az AADI- 609 rendszámú autóbusz 40.000km-es olajmintájának eredménye látható. A kinematikai viszkozitás értéke még a viszkozitási osztály határértékein belül van, de feltehetőleg a koromtartalom hatására növekedett és közelít a 10W-40 es olajok felső határához, ami $<16,3\text{mm}^2/\text{s}$. Szennyezőanyag tartalom tekintetében a Si-tartalom enyhe növekedést mutat, még mindig a figyelmeztető tartományon belül, viszont a koromtartalom még a korábbi mintához képest is megugrott, ami már jócskán túlmutat a 8%-os határértéken. Az üzemanyag tartalom az előző mintához képest csökkent. Ezzel párhuzamosan a kopásfémek mennyisége is nőtt, mind az Al-tartalom és a Fe-tartalom a figyelmeztető határérték feletti értékeket mutatnak.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	104
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	16,0
Viszkozitás Index		165
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1778
-Mg tartalom	mg/kg	435
-P tartalom	mg/kg	696
-Zn tartalom	mg/kg	804
-S tartalom	mg/kg	2413
-B tartalom	mg/kg	117
-Mo tartalom	mg/kg	80
Diszpergencia		86
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víz tartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	3
-K tartalom	mg/kg	13
-Si tartalom	mg/kg	29
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	10,4
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	2,4
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	13
-Cr tartalom	mg/kg	<1
-Cu tartalom	mg/kg	16
-Fe tartalom	mg/kg	96
-Mn tartalom	mg/kg	<1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	<1
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		18
Ferrográfia		kész
Víz tartalom (Kemencés KF)	mg/kg	1113
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

26. ábra AADI-609 rendszámú autóbusz 40.000 km-es olajmintája

Az alábbi 27. ábra az AADI-610 rendszámú autóbusz olajvizsgálati eredményeit szemlélteti. A kinematikai viszkozitás értéke hasonlóan az előző azonos futásteljesítményű olajhoz hasonló értéket mutat, még a viszkozitási osztály határain belül. Szennyezőanyag tartalom szempontjából a Si-tartalom ebben az esetben is tovább növekedett, meghaladva az alsó, figyelmeztető határt. A koromtartalom szintén további növekedést mutat, jelen esetben is jóval meghaladva a súlyos, 8%-os határértéket. Az üzemanyag tartalom ebben az esetben nőtt az előző mintához képest, meghaladva a figyelmeztető, 3%-os határértéket. A kopásfém tartalom is növekvő tendenciát mutat, a Fe-tartalom az előző mintához képest már meghaladja a figyelmeztető 80ppm-es értéket.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	109
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	15,9
Viszkozitás Index		156
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1763
-Mg tartalom	mg/kg	453
-P tartalom	mg/kg	688
-Zn tartalom	mg/kg	821
-S tartalom	mg/kg	2247
-B tartalom	mg/kg	111
-Mo tartalom	mg/kg	79
Diszpergencia		88
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víz tartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	5
-K tartalom	mg/kg	14
-Si tartalom	mg/kg	24
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	10,8
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	3,4
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	10
-Cr tartalom	mg/kg	1
-Cu tartalom	mg/kg	20
-Fe tartalom	mg/kg	89
-Mn tartalom	mg/kg	<1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	1
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		19
Ferrográfia		kész
Víz tartalom (Kemencés KF)	mg/kg	1500
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

27. ábra AADI-610 rendszámú autóbusz 40.000km-es olajmintája

6.4.6. 50.000 km-es mintavételek eredményei

Az alábbi, 28. ábrán az AADI-610 rendszámú autóbusz 50.000km-es futásteljesítményű olajvizsgálati eredményei láthatóak. A 100°C-on mért kinematikai viszkozitás értéke már meghaladja a figyelmeztető értéket. Szennyezőanyag tartalom szempontjából a Si-tartalom továbbra is enyhén magas, de további növekedés nem figyelhető meg. A koromtartalom viszont további növekedést mutat, immáron már a 40.000km-es futásteljesítményű minták esetében látott 10,4 és 10,8%-os tartalomnál is magasabb 12,4%-ot. Feltehetőleg ennek hatására növekedett a viszkozitás értéke. Az üzemanyag tartalom figyelmeztető határértéken alul maradt jelenleg. A kopásfém tartalom továbbra is növekvő tendenciát mutat Fe-tartalom szempontjából.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	119
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	17
Viszkozitás Index		156
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1745
-Mg tartalom	mg/kg	458
-P tartalom	mg/kg	651
-Zn tartalom	mg/kg	818
-S tartalom	mg/kg	2102
-B tartalom	mg/kg	103
-Mo tartalom	mg/kg	75
Diszpergencia		86
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víztartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	4
-K tartalom	mg/kg	14
-Si tartalom	mg/kg	28
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	12,4
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	1,78
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	11
-Cr tartalom	mg/kg	1
-Cu tartalom	mg/kg	20
-Fe tartalom	mg/kg	101
-Mn tartalom	mg/kg	1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	1
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		17
Ferrográfia		kész
Víztartalom (Kemencés KF)	mg/kg	1257
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

28. ábra AADI-610 rendszámú autóbusz 50.000km-es olajmintája.

Az alábbi, 29. ábrán az AADI-609 rendszámú autóbusz 50.000km-es olajmintájának eredményei láthatóak. Az olajminta kinematikai viszkozitása az olaj viszkozitási csoportjának megfelelő határértéken belül van. Szennyezőanyag tartalom szempontjából a Si-tartalom enyhén növekedett, de továbbra is a figyelmeztető határértéken belül. A koromtartalom jelen esetben nagy mértékben nőtt, a korábbi 10,4%-ról 15,2%-ra. Az üzemanyag tartalom tovább nőtt a korábbi mintához képest 2,4%-ról 3,8%-ra, ami már meghaladja a figyelmeztető 3%-os határértéket. Feltehetőleg a magasabb üzemanyag tartalom hatására nem növekedett az olaj viszkozitása annyira, hogy a megadott 10W-40-es viszkozitású osztály felső határértékénél magasabb legyen a nagyon magas koromtartalom ellenére sem. A kopásfém tartalom az előző mintához képest enyhe növekedést mutat, de még a figyelmeztető határértéken belül.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	115
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	16
Viszkozitás Index		149
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1795
-Mg tartalom	mg/kg	452
-P tartalom	mg/kg	678
-Zn tartalom	mg/kg	797
-S tartalom	mg/kg	2081
-B tartalom	mg/kg	92
-Mo tartalom	mg/kg	77
Diszpergencia		88
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víztartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	4
-K tartalom	mg/kg	15
-Si tartalom	mg/kg	31
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	15,2
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	3,8
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	13
-Cr tartalom	mg/kg	2
-Cu tartalom	mg/kg	18
-Fe tartalom	mg/kg	108
-Mn tartalom	mg/kg	1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	1
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		17
Ferrogáfia		kész
Víztartalom (Kemencés KF)	mg/kg	550
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

29. ábra AADI-609 rendszámú autóbusz 50.000km-es olajmintája.

6.4.7. 60.000 km-es mintavételek eredményei

Az alábbi, 30. ábrán az AADI-586 rendszámú autóbusz 60.000km-es olajmintájának eredményei láthatóak. A 100°C-on mért kinematikai viszkozitás magasabb, mint a 10W-40-es viszkozitású osztályú olajoknál megengedett felső határ. Szennyezőanyag tartalom szempontjából a Si-tartalom enyhén magas. A koromtartalom jóval a súlyos, 8%-os határtérték feletti értéket mutat jelen esetben is. Kopásfém tartalom tekintetében az Al- tartalom és a Fe-tartalom a figyelmeztető határtérték felett van. Feltehetőleg ebben az esetben, valamint már korábbi olajmintáknál tapasztalt magasabb koromtartalomnál az olaj kenési tulajdonságai csökkenhettek, nagyobb mértékű olajfogyasztás léphetett fel és a buszokra felszerelt 15 liter űrtartalmú automata utántöltőrendszerből bevitt friss olaj frissítő hatása okozhatta a koromtartalom csökkenését.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	117
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	16,4
Viszkozitás Index		151
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1680
-Mg tartalom	mg/kg	404
-P tartalom	mg/kg	666
-Zn tartalom	mg/kg	777
-S tartalom	mg/kg	2121
-B tartalom	mg/kg	89
-Mo tartalom	mg/kg	82
Diszpergencia		92
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víztartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	5
-K tartalom	mg/kg	18
-Si tartalom	mg/kg	28
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	12,8
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	2,8
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	18
-Cr tartalom	mg/kg	1
-Cu tartalom	mg/kg	12
-Fe tartalom	mg/kg	86
-Mn tartalom	mg/kg	<1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	3
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		19
Ferrográfia		kész
Víztartalom (Kemencés KF)	mg/kg	1016
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		
90: Fekete		

30. ábra AADI-586 rendszámú autóbusz 60.000km-es olajmintája.

Az alábbi, 31. ábrán az AADI-610 rendszámú autóbusz 60.000 km-es futásteljesítményű motorolaj mintájának az eredményei láthatók. A 100°C-on mért kinematikai viszkozitás jóval magasabb, mint a 10W-40-es viszkozitású osztályú olajoknál megengedett felső határ. Szennyezőanyag tartalom szempontjából a Si-tartalom ebben az esetben is enyhén magas. A koromtartalom az mérések során látott legmagasabb értéket, 17,2%-os értéket mutat. Ez az érték egyértelműen mutatja, hogy a súlyos, 8%-os határértékhez képest milyen magas szinten van korommal túlterhelve a kenőanyag. Kopásfém tartalom tekintetében a Fe-tartalom a figyelmeztető határérték felett van hasonlóan azokhoz a mintákhoz, ahol a koromtartalom is már meghaladta a súlyos határértéket.

Olajállapot		
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	123
Kinematikai Viszkozitás, 100°C	mm ² /s	17,8
Viszkozitás Index		161
ICP vizsgálat		
-Ba tartalom	mg/kg	<1
-Ca tartalom	mg/kg	1763
-Mg tartalom	mg/kg	467
-P tartalom	mg/kg	654
-Zn tartalom	mg/kg	837
-S tartalom	mg/kg	2135
-B tartalom	mg/kg	104
-Mo tartalom	mg/kg	77
Diszpergencia		88
Szennyeződés		
Üzemanyag tartalom	fokozat	N
Víztartalom	fokozat	N
Hűtőfolyadék	fokozat	Negatív
ICP vizsgálat		
-Na tartalom	mg/kg	5
-K tartalom	mg/kg	16
-Si tartalom	mg/kg	31
-Li tartalom	mg/kg	<1
Koromtartalom	%	17,2
Üzemanyag tartalom (GC) (gázolaj)	%(m/m)	2,2
Kopás		
ICP vizsgálat		
-Al tartalom	mg/kg	11
-Cr tartalom	mg/kg	2
-Cu tartalom	mg/kg	20
-Fe tartalom	mg/kg	109
-Mn tartalom	mg/kg	1
-Ni tartalom	mg/kg	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1
-Sn tartalom	mg/kg	1
-Ag tartalom	mg/kg	<1
-Ti tartalom	mg/kg	<1
-V tartalom	mg/kg	<1
Kopás index (PQ)		17
Ferrográfia		kész
Víztartalom (Kemencés KF)	mg/kg	624
ICP vizsgálat		
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		90

Vizuális vizsgálat (kenőolaj)
90: Fekete

31. ábra AADI-610 rendszámú autóbusz 60.000km-es olajmintája.

7. Gazdasági számítás

3. táblázat Alkatrészek, költségei és hozzá tartozó munkaórák

Megnevezés	Mennyiség	Egységár	Munkaóra
Motorolaj	25L+15L utántöltő	1.240 Ft	¾ munkaóra
Motorolaj szűrő	1db, OEM	13.315 Ft	
Olajleeresztő csavar alátét	1 db	200 Ft	
EGR tisztító spray	1 db	3500 Ft	Tisztítás esetén szerelés és tisztítás: 2 munkaóra Csere esetén: 1 munkaóra
Ultrahangos tisztító gép	1 db	150.000 Ft	
Ipari tisztítószer	1 dl vagy 10dkg	800 Ft	
EGR szelep	1 db	195.000 Ft	
DPF szűrő	1db (csere darab)	350.708 Ft	1 ¼ munkaóra
Új motor	1db	17.000.000 Ft	24 munkaóra
Vontatás költsége Budapesten belül (emelve/vontatva)	1db	~70.000 Ft	távolságtól és helytől függően változó

Meg kell jegyezni, hogy a meghibásodások során való, esetlegesen csökkentett teljesítményű üzemmódba kapcsolt motor esetén a szállítással nem tudunk számolni attól függően, hogy hol és milyen körülmények között történik. A DPF szűrő csereperiódusa 120.000km. Ezzel még nem történt idő előtti meghibásodás, de nem árt szem előtt tartani a rendszernek ezt az elemét sem a későbbiekben. EGR szelep meghibásodásból és ehhez kapcsolódó motorhiba lámpa jelzésre eddig 25 autóbushoz összesen 90 regisztrált eset volt. Mostanra az EGR szelep tisztítása ezek miatt rutin feladattá vált az ütemezett karbantartások során. Az EGR szeleppel kapcsolatos problémák részletei az Üzemeltetési nehézségek részben részletesen bemutatásra kerültek. Az itt felsoroltakon túl érdemes elgondolkodni azon, hogy ezek az autóbuszok

jelenleg még nincsenek 2 évesek. A hosszú távú motor állapot megóvás és az ehhez szükséges sűrűbb motorolaj csereperiódus hosszú távon nagyon nagy valószínűséggel hozzá fog járulni ahhoz, hogy megelőzzünk ezzel egy nagyobb mértékű motor meghibásodást, aminek a költsége nagyságrendekkel magasabb az olajcsere és a hozzá köthető egyéb költségek mértékénél.

8. Összefoglalás

Dolgozatomban azt a célt tűztem ki magam elé, hogy egy valós, napi szinten problémákat okozó, működést nehezítő tényezőt tudjak javítani, nem csak a vizsgált telephelyen, hanem a cég összes, 125 db nagy értékű berendezésének vonatkozásában.

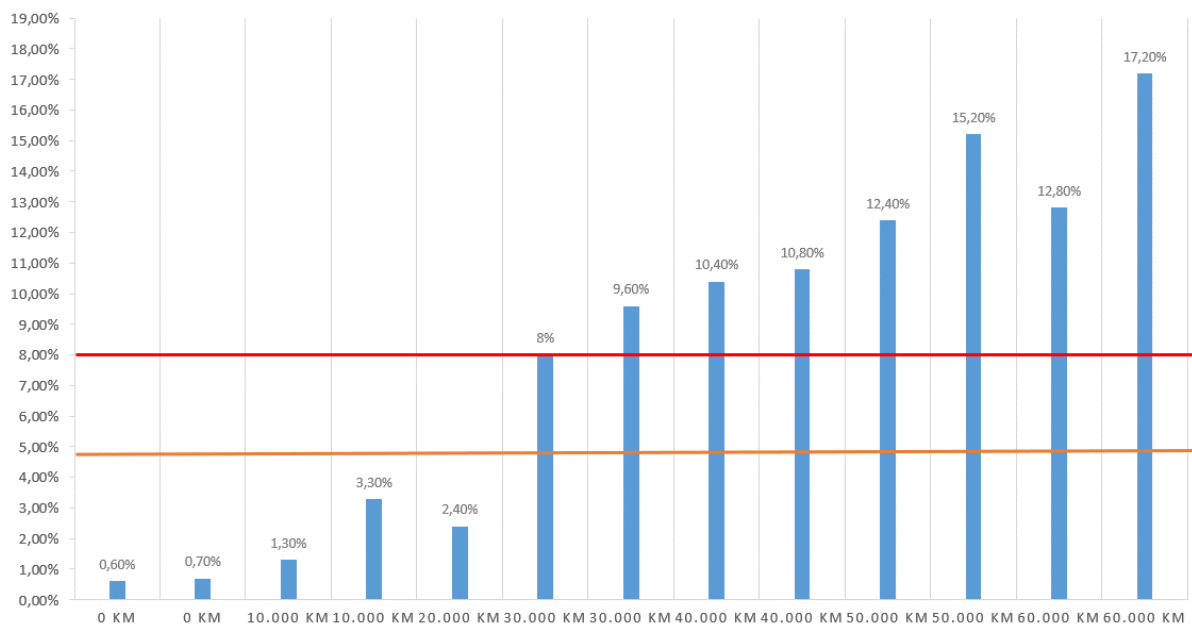
Igyekeztem betekintést nyújtani a MOL-LUB Kft. által végzett LubCheck kenőanyag vizsgálatokba és ezen keresztül a partnerek számára nyújtott előnyök bemutatásával. A vizsgálati folyamatot igyekeztem részletesen, lépésről lépésre bemutatni, a helyes mintavételtől a kiértékelési módszerig kenéstechnikai szakértő szemmel.

A 13 db személyesen vételezett olajminta és annak laboratóriumi vizsgálata, valamint a kapott eredmények felhasználói szinten értelmezhető szakvéleményének elkészítése során rávilágított a téma létjogosultságára. Ezen vizsgálatok alapján a felhasználási körülményekhez illeszkedő olajcsere periódus ideálisan 30.000 km-t mutat. Ezt javaslatként ajánlom a BKV Zrt. műszaki szakemberei számára. Ezzel a Kelenföldi autóbuszgaráznál hozzájárulhatnak ahhoz, hogy ezek az autóbuszok hosszú ideig, garanciaidőn időn túl is problémamentesen ki tudják szolgálni Budapest tömegközlekedését, anélkül, hogy a cég számára az esetleges kiesések és leállások többletköltséget okozna. Valamint annak érdekében, hogy a 4 éves bérleti szerződés után jó műszaki állapotú buszokkal bővítsék saját flottájukat.

Ezeket túl a BKV Zrt. az olajvizsgálati eredmények alapján műszaki javító intézkedéseket javasolhat a gyártó számára. A magas koromtartalom a rendszerbe épített centrifugaszűrő segítségével nagy valószínűséggel kezelhető lenne, a csereperiódus így hosszabb lehetne. A javaslat azon alapul, hogy az OM 470-es motorkódú Mercedes-Benz csuklós autóbuszok 10,7 literes motorjai centrifugális szűrővel vannak felszerelve, és a 60 000 km-es csereperiódus alatt sem észlelhető komoly koromszennyezés és EGR hiba.

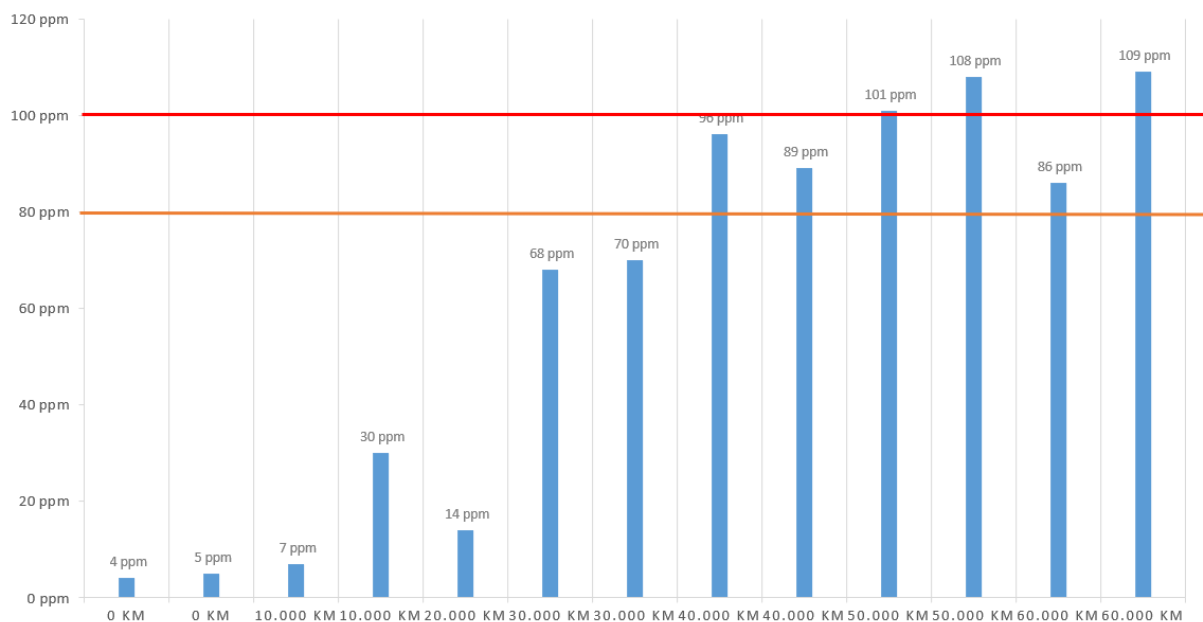
Az alábbi ábrák tömören és jól érthetően foglalják össze a szakdolgozat által vizsgált témát.

KOROMTARTALOM (ASTMD 7899-24)

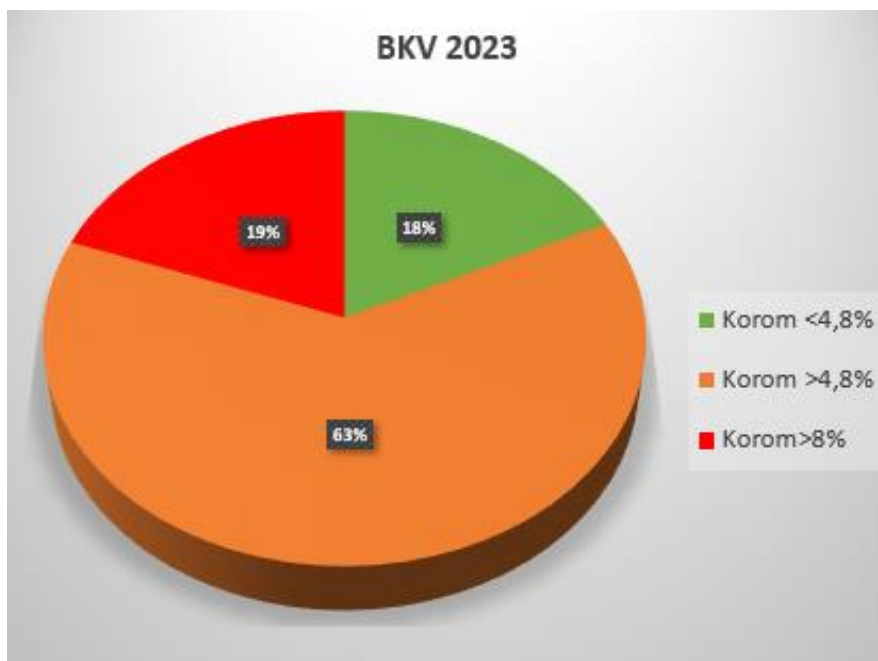


32. ábra Koromtartalom összefoglaló táblázat

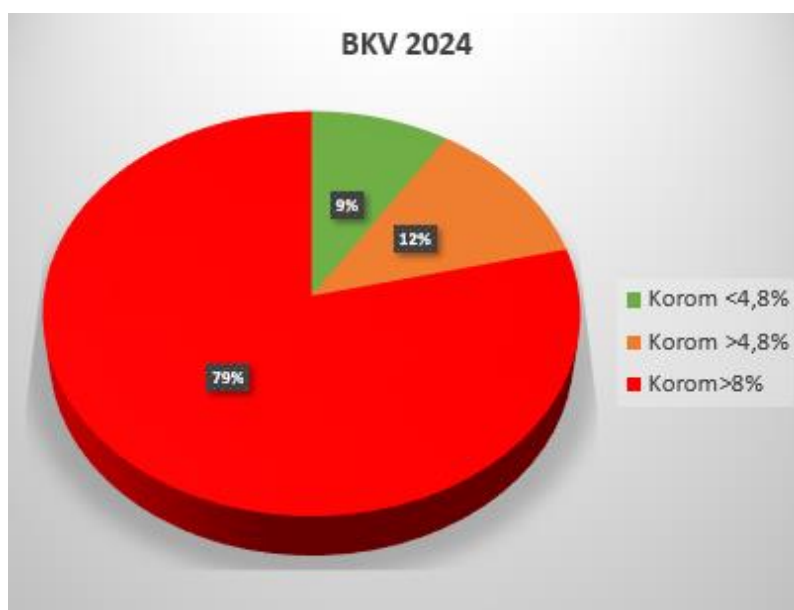
FE-TARTALOM



33. ábra Kopásfém (Fe) tartalom összefoglaló táblázat



34. ábra BKV Zrt. által 2023-ban beküldött, 60.000km futásteljesítményű olajminták vizsgálati eredményei (67db)



35. ábra BKV Zrt. által 2024-ben beküldött, 60.000km futásteljesítményű olajminták vizsgálati eredményei (33db)

9. Summary

In my thesis, I set myself the goal of being able to improve on a real factor that causes problems on a daily basis and complicates operations, not only at the examined site, but also in relation to all of the company's 125 pieces of high-value equipment.

I tried to provide an insight into the LubCheck lubricant tests conducted by MOL-LUB Kft. and by presenting the benefits provided to the partners through this. I tried to present the test process in detail, step by step, from the correct sampling to its evaluation method from a lubrication expert point of view.

The reason of the topic and its added value became clear during the collection and laboratory testing of the 13 oil samples performed personally and the preparation of the lubrication report of the obtained results that can be interpreted at the user level. Based on these, it was possible to find the oil change period suitable for the use based on the tests, which means 30,000 km. I offer this as a suggestion to the technical specialists of BKV Zrt. Kelenföld Garage, with which they can contribute to ensuring that the tested buses can serve Budapest's public transport problem-free for a long time, even beyond the warranty period, without downtime or extra costs for the company. As well as in order to expand their own fleet with buses in good technical condition after the 4-year lease contract.

Beyond these, BKV Zrt. can propose technical corrective actions to the manufacturer based on the oil test results. Because the high soot content could most likely be handled with the help of the centrifuge filter built into the system. This proposal is based on the fact that the 10.7-liter engines of the articulated Mercedes-Benz buses with engine code OM 470 are equipped with a centrifugal filter and that serious soot contamination and EGR clogging defects are not observed even during the 60,000 km replacement period.

10.Nyilatkozatok



Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36-28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

NYILATKOZAT

Alulírott Horváth Márk, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllői Campus, Kenéstechnikai és tribo-diagnosztikai szakmérnök szak levelező tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Szakdolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2024.október 25.


Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Szakdolgozatot záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2024. október 25.


Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Horváth Márk
A Hallgató Neptun kódja: O6X0WX
A dolgozat címe: OM 936 motor felhasználásához illeszkedő csereperiódus beállítás LubCheck olajvizsgálatok segítségével
A megjelenés éve: 2024
A tanszék neve: Anyagtudományi- és Gépipari Folyamatok

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: Gödöllő, 2024 október 25.



Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Horváth Márk (O6X0WX) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: Gödöllő, 2024.október 25.


Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

11. Irodalomjegyzék

- [1] „https://www.mercedes-benz-bus.com/hu_HU/home.html,” [Online].
- [2] „<https://www.bkv.hu/hu>,” [Online].
- [3] „<https://omnibushungaria.com/>,” [Online].
- [4] Zsidai László PhD - Tribológiai alapfogalmak, történet, súrlódás, 2023.
- [5] M. G. 2. Kalácska Gábor - Kopási mechanizmusok.
- [6] V. István, A tribológia alapjai, Budapest: Tribotechnik Kft, 2002.
- [7] D. K. Mihály, Gépelemek 9. Tribológia, siklócsapágyak, Budapesti Műszaki Egyetem, Gépészmérnöki Kar: Műegyetemi Kiadó, 1995.
- [8] „https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=mechanisms_of_wear,” [Online].
- [9] R. P. S. P. T. D. Kovács Gáborné Mezei Gizella, Gépelemek, Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Győr, 2013.
- [10] E. A.-K. Róbert, Szerző, *Kenési állapotok*. [Performance]. 2024.
- [11] N. Ákos, Szerző, *Motorolajok fejlesztése*. [Performance]. MOL-LUB Kft, 2024.
- [12] S. Z. Kalmár István, Belsőégésű motorok folyamatai, Budapest: Műegyetemi Kiadó, 1998.
- [13] S. L.-L. Lumley, „The Engine Killers,” 2 2019.
- [14] „MOL LubCheck olaj-és gépdiagnosztika,” MOL-LUB Kft, [Online]. Available: <https://mol.hu/hu/kenoanyag-es-autoapolas/mezogazdasag/szolgaltatasaink/mol-lubcheck-szolgaltatas#a-lubcheck-diagnosztika-szamos-teruleten-segit-a-koltsegek-optimalizalasaban>.
- [15] V. I. -. A. t. alapjai.

[16] „Tricocorp,” [Online]. Available: Tricocorp.com.