



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Kenéstechnikai és tribo-diagnosztikai szakmérnök Szak

**Polialfaolefin alapú kompresszorolaj fejlesztése,
állapotváltozásának nyomon követése,
energiahatékonyság vizsgálata**

Belső konzulens: Dr. Kalácska Gábor Tamás
egyetemi tanár

Külső konzulens: Kecskés Zoltán
kenéstechnikai szakértő

Készítette: Szilágyi Bálint
Z50GRB
levelező tagozat

Intézet/Tanszék: Anyagtudományi és gépipari
folyamatok Tanszék

**Gödöllő
2024**

MŰSZAKI INTÉZET

Kenéstechnológiai és Tribo-diagnosztikai szakmérnök / szakember

SAKADOLGOZAT

feladatlap

Szilágyi Bálint István (Z50GRB)

részére

A szakdolgozat címe:

**Polialfaolefin alapú kompresszorolaj fejlesztése, állapotváltozásának
nyomon követése, energiahatékonyság vizsgálata**

Feladatkiírás:

Bevezetés, Cégbemutató, Szakirodalom feldolgozása, Probléma bemutatása,
Tervezés/probléma megoldás, Kompresszorolaj fejlesztés és alkalmazástechnikai vizsgálat,
Gazdasági számítás, Összefoglalás.

Közreműködő tanszék: Anyagtudományi- és Gépípari Folyamatok

Külső konzulens: *Kecskés Zoltán* kenéstechnikai szakértő, MOL-LUB Kft. Termékfejlesztési
és Alkalmazástechnikai Központ

Belső konzulens: *Dr. Kalácska Gábor Tamás*, egyetemi tanár, MATE, MI

Beadási határidő: 2024. november 5

Gödöllő, 2024. szeptember 9

Jóváhagyom

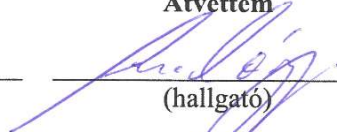


(tanszékvezető)



(szakfelelős)

Átvettem



(hallgató)

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

Gödöllő, 2024.



(külső konzulens)

Tartalom

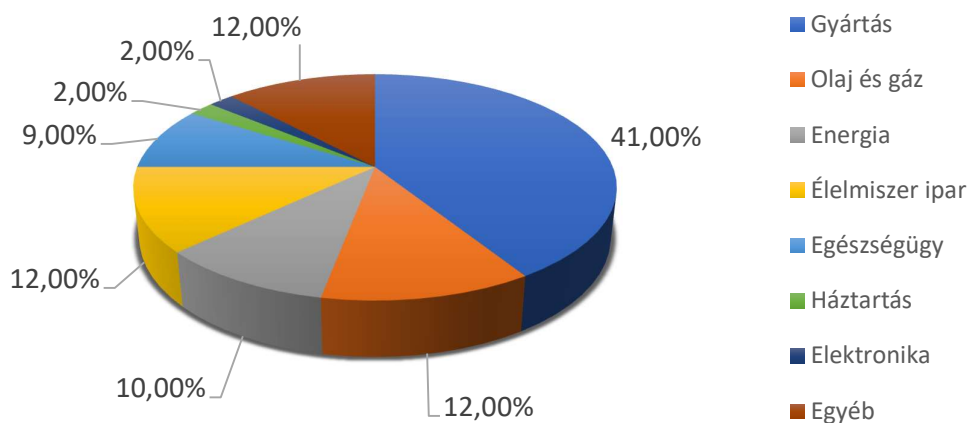
1.	Bevezetés.....	5
1.1.	Téma jelentősége	6
1.2.	Célkitűzés.....	7
2.	Cégbemutató	8
3.	Szakirodalom feldolgozása	9
3.1.	Történelmi áttekintés	9
3.2.	Tribológia.....	11
3.2.1.	Súrlódás	11
3.2.2.	Kopás	11
3.2.3.	Kenés	12
3.3.	Kompresszorok	13
3.4.	Kompresszorok kenése	15
3.4.1.	A kompresszorolajok általános jellemzői.....	15
3.4.2.	A kompresszorolajok összetétele.....	17
3.5.	A kompresszorolajok típusai.....	18
3.6.	Polialfaolefin (PAO), mint alapolaj	19
4.	Probléma bemutatása.....	21
5.	Tervezés/Probléma megoldása.....	24
5.1.	A vizsgált kenőanyag.....	24
5.2.	A kenőanyag megfelelőségét vizsgáló paraméterek	25
5.3.	A tesztberendezés.....	27
5.4.	A mérés menete.....	28
5.5.	Értékelés.....	36
6.	Gazdasági számítás	38
7.	Összefoglalás.....	39

8.	Summary	40
9.	Nyilatkozatok	41
10.	Irodalomjegyzék	44
11.	Ábrajegyzék.....	46
12.	Mellékletek jegyzéke	46

1. Bevezetés

A légkompresszorok komoly igénybevételnek vannak kitéve a magas hőmérséklet, nyomás és sebesség miatt. Mivel számos rendszer alapvető elemei, megbízható működésük elengedhetetlen a zavartalan termeléshez. Ennek megfelelően a kenőanyagokkal szembeni követelmények is magasak: a karbantartási időközöket a lehető leghosszabbra kell nyújtani, és a hatékonyságot magas szinten tartani. A kompresszorrendszerben lévő szennyeződések, például a por valamint az olaj oxidációja nem akadályozhatják a működést.

Napjaink fejlett iparában számos termelési és vegyipari folyamatban játszanak jelentős szerepet a gázok sűrítésére szolgáló berendezések, a kompresszorok. Alkalmazási területtől függően szolgálhatnak sűrített levegő előállításra, de bizonyos vegyipari folyamatok esetén más, az adott technológiához szükséges gáz komprimálására is. Mivel a technológiai fejlődés elkerülhetetlen velejárója a berendezések hatékonyságának és teljesítményének növekedése, a rendszerelemek egyre fokozódó terhelésnek vannak kitéve. Egy gép meghibásodása termelés kiesést, jelentős anyagi veszteséget eredményez, ami kiegészül a berendezés javítási költségével. Kulcsfontosságú műszaki feladat tehát a berendezést egymáson elmozduló, súrlódó elemeinek kenése, azaz a megfelelő kenőanyag alkalmazása. Az 1. ábrán a levegőkompresszorok felhasználási területeinek globális eloszlását mutatja be 2023. évi adatok alapján:



1. ábra: Levegőkompresszorok alkalmazási területeinek aránya iparáganként [1]

1.1. Téma jelentősége

A kenőanyag, mint folyékony gépelem szakszerű kiválasztása és megfelelő alkalmazása elengedhetetlen alapfeltétele a folyamatos, hatékony termelésnek valamint a gépelettartam optimalizálásnak. Az ipari felhasználású kenőanyagok modernkori evolúciójának kezdete az ipari forradalom kirobbanásához, azaz a 19. század második feléhez köthető. A kezdeti, adalékoltatlan ásványolaj jellegű kenőanyagokat felváltották az adalékolt termékek, majd a folyamatosan növekvő műszaki elvárásokkal együtt egyre nagyobb teret hódítanak a magasan finomított ásványolaj (API Group II, Group III) alapú, valamint a szintetikus alapolajokra (API Group IV – PAO, Group V - észter) épülő kenőanyagok. Az 1. táblázatban az API bázisolaj kategóriák meghatározó paraméterei láthatók [2].

1. táblázat: API bázisolaj kategóriák

API bázisolaj kategóriák			
Csoport	Kéntartalom [tömeg %]	Telített szénhidrogének [tömeg %]	Viszkozitási index
Group I	>0,03	<90	80-120
Group II	<0,03	>90	80-120
Group III	<0,03	>90	>120
Group IV	Polialfaolefinek (PAO)		
Group V	Egyéb szintetikus bázisolajok, nafténes olajok		

Bár a magasabb bázisolaj kategóriák komplexebb finomítási ill. gyártási folyamatokkal állíthatók elő így jellemzően drágábbak, számos olyan előnyös fizikai/kémiai tulajdonságot hordoznak, amelyek indokoltá teszik alkalmazásukat. Az API kategória számának emelkedésével csökken az olaj kéntartalma, nő a viszkozitási indexe, valamint csökken a telítetlenség mértéke, ami szoros összefüggésben áll az oxidációs reakciókkal szemben mutatott ellenállással, az oxidációs stabilitással. Ez a tulajdonságuk teszi lehetővé, hogy hosszabb a termékek várható élettartama, ezáltal a csereperiódusuk is, illetve szélesebb hőmérséklettartományban alkalmazhatók.

A magas viszkozitási index biztosítja, hogy a kenőanyag hőmérsékletének változásával annak viszkozitása kisebb mértékben ingadozik. Hidegindítás esetén sem túl magas a viszkozitás így a kenőfilm kellő sebességgel kialakul, ami kisebb mértékű indítási kopást eredményez. Egy

esetleges túlmelegedés esetén pedig nem csökken olyan mértékben a kenőanyag viszkozitása, hogy megszakadjon a kenőfilm.

A magasabb API bázisolaj kategóriák alkalmazásával elérhető nagyobb mértékű oxidációs stabilitás, ami hosszabb csereperiódust jelent, ezáltal kevesebb használtolaj keletkezik, és alacsonyabb az üzemeltetési költség. A kedvező tribológiai tulajdonságok révén kisebb mértékű kopás, így hosszabb gépélettartam várható. Ezen tényezők alapján az ilyen irányba történő kenőanyag fejlesztések környezettudatos és fenntartható ipari folyamatokhoz járulnak hozzá.

[2]

1.2. Célkitűzés

A szakdolgozat elkészítésével célul tűztem ki egy új, API Group IV (polialfaolefin) bázisolajra épülő kompresszorolaj laboratóriumi formulázását, majd a fizikai paraméterek optimalizálását követően a kísérleti összetétel alkalmazástechnikai vizsgálatát. A vizsgálatok során referenciaként a MOL-LUB Kft. által gyártott MOL Compressol R 46 szolgál.

Az átfogó alkalmazástechnológiai vizsgálatot a MOL-LUB Kft. területén használt, ATLAS COPCO GA 55 típusú csavarkompresszoron fogom elvégezni. Nyomon követem a kenőanyag állapotváltozását a MOL-LUB Kft. által végzett használt kenőanyag vizsgálati módszerekkel, amely a kenőanyag állapota mellett a gépállapot változásáról is információval szolgál. Ezzel párhuzamosan figyelemmel kísérem a kísérleti berendezés energiafelhasználását is.

2. Cégbemutató

A MOL-LUB története 1907-ig nyúlik vissza, amikor Almásfüzitőn megkezdte termelését a Vacuum Oil Company kenőanyag gyára.

Több mint 110 éves tapasztalat, élenjáró termelési háttér, valamint a széles körű szakismeretek biztosítják a folyamatosan bővülő kenőanyag és autókémikália választék és regionális terjeszkedés alapját. A 2. ábra a MOL-LUB Kft. termékportfólióját szemlélteti. [3]



2. ábra: MOL-LUB Kft. gyártási portfólió [3]

A céget legtömörebben bemutató számadatokat a 3. ábra tartalmazza:

Közel 44 mrd Ft éves árbevétel		Értékesítés a világ több mint 50 országában	
Több mint 5,5 mrd Ft EBITDA/év		Piacvezető a magyar, szlovák és horvát piacokon, nemzetközi szinten jelentős növekedési potenciál	
Több mint 3500 ügyfél		Saját K+F, kenőanyaggyártó üzem és laboratórium Magyarországon és Horvátországban	
9 logisztikai központ		Háromnaponta új termékfejlesztés kezdődik	
Teljes gyártási kapacitás: 130 kt			

3. ábra: MOL-LUB Kft.-t bemutató számadatok [3]

3. Szakirodalom feldolgozása

A téma átfogó megismerése céljából röviden bemutatom a tudományág történelmi fejlődését, valamint a kenéstechnika releváns területeit.

3.1. Történelmi áttekintés

Az emberiség még a kőkorszakban ismerte meg a súrlódás jelenségét, amikor felfedezték, hogy fadarabok egymáshoz dörzsölésével tüzet tudnak gyújtani. Őseink rönköket használtak gördülőeszközként, hogy csökkentsék a súrlódást nagy rakományok, például kövek szállítása közben.

I.e. 1400 körül épített egyiptomi sírokban, korai szekerekre bukkantak. Nagy valószínűséggel faggyút használtak mészporról és kalcium-szappanokkal együtt a tengelyek kenésére.

Egy mezopotámiai fazekaskorong csapágypályai i.e. 400-ból nyomokban bitumenes anyagokat (kőolajból származó sötét színű szilárd anyagot) tartalmaztak.

I.sz. 200-ban a rómaiak a szekereket használták elsődleges szállítási módként, amelyeket állati zsírokkal kentek. A középkorban, az V. századtól a 10. századig elterjedt, hogy állati zsiradékot használnak a kastélyok kapuit nyitó mechanizmusok, illetve kocsikerekek kenésére. A norvégok vélhetően bálnaalajat használtak a vitorlák csuklópántjainak és a kormánytengelyeknek a kenésére.

Ahogy a civilizáció tovább fejlődött Itáliában a 15. és 16. században, a legnagyobb elmék némelyike találmányokat és mechanikus eszközöket fejlesztett ki. Ebből az időből az egyik figyelemre méltó személy Leonardo da Vinci volt, aki olyan óriásprojektek kidolgozásáért volt felelős, amelyek hozzájárultak a kenés fejlődéséhez, a katapult és a kotrógép esetén.

1687-ben Sir Isaac Newton angol fizikus és matematikus meghatározta a „viszkózitás” kifejezést, amely azon a meggyőződésen alapult, hogy a súrlódásnak molekuláris és mechanikai okai is vannak. A viszkózitás úgy definiálható, mint „a belső súrlódás következtében sűrű, ragadós és félfolyékony állagú”.

A 18. és 19. században kezdődő ipari forradalommal az ipar és a szállítás gépesítése valósággá vált. Ahogy a textilipar gépiesítése fejlődött, úgy bővült a kenőanyagok alkalmazása. Az ásványi olajokat agyagpalából vonták ki és petróleummá finomították.

Az 1930-as években több adalékanyag jelent meg, például oxidációgátlók, korrózióálló adalékok, viszkozitási indexek módosítók. Új kenőanyag formulákat fejlesztettek ki az autómotorolajok élettartamának és teljesítményének növelésére.

1950-re megjelentek a többfokozatú autóiipari motorolajok, és fejlődött a kenési technológia. Ezekben polimereket alkalmaztak, hogy növeljék az olaj viszkozitási indexét, és javítsák a teljesítményt meleg és hideg hőmérsékleten egyaránt. A „tribológia” kifejezést először Peter Jost alkalmazta, aki súrlódási problémákkal foglalkozott.

A hidrokrakkolás folyamata az 1970-es és 1980-as években vált általánossá. Ezzel a módszerrel olyan Group II. csoportba tartozó alapolajokat gyártottak, amelyek nagy stabilitást, és kiváló alacsony hőmérsékleti tulajdonságokkal rendelkeztek a Group I. csoportba tartozó alapolajokhoz képest.

Az 1990-es években megkezdődött a modern hidroizomerizációs technológiák alkalmazása. Ennek a módszernek a célja az alapolajok viaszmentesítése volt a viasz molekulák jó minőségű alapolajokká alakításával. Az API hivatalosan besorolta a II., III., IV. és V. csoportba tartozó alapolajokat.

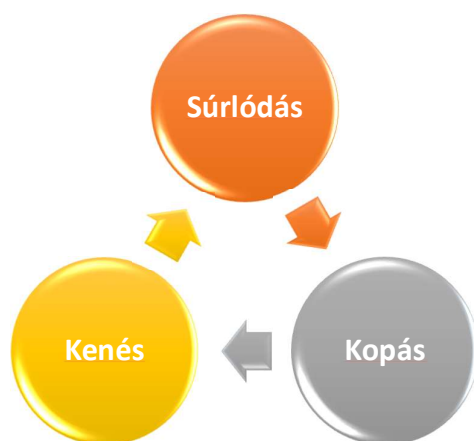
Ahogy beléptünk a 21. századba, a mechanikus kenés fejlődése tovább haladt. Az ipar folyamatosan fejlődik, hogy megfeleljen a modern gépek igényeinek.

A zsírokat és más modern félszilárd kenőanyagokat ásványolajban vagy szintetikus alapolajban lévő sűrítő komponensekből állítják elő. Egyes sűrítő adalékok továbbra is tartalmaznak növényi és állati zsírsavakat, elszappanosított zsírokat. Napjainkban jelentős mennyiségben állítanak elő nyersolajból szintetikus alapolajokat kémiai szintézissel. Ezeknek az olajoknak alacsony a súrlódási együtthatója, alacsony a párolgási hajlamuk, kiemelkedő vízelválasztási tulajdonságokkal rendelkeznek és magas a hőstabilitásuk. [4]

Az alkalmazott technológiák és kenőanyagok területén végbemenő folyamatos fejlődés magában nem elegendő a kenéstechnikai rendszer egészének optimalizálásához. A hatékonyság maximalizálásához elengedhetetlen a súrlódási és kopási folyamatok elméleti hátterének ismerete valamint a kenési módszer – ide értve a megfelelő kenőanyagot és annak alkalmazási módját – gondos megtervezése és kivitelezése.

3.2. Tribológia

A tribológia a kölcsönösen egymásra ható és egymáshoz viszonyítva elmozduló felületek tudománya és technológiája, amely felöleli az ezzel kapcsolatban álló gyakorlati intézkedéseket [5].



4. ábra: A tribológia három alapjelensége [6]

3.2.1. Súrlódás

Súrlódás akkor lép fel, ha két egymással érintkező felület elmozdul egymáshoz képest, legyen szó szilárd anyagról, folyadékról vagy gáz halmazállapotról. A súrlódás az adott rendszertől függően lehet előnyös jelenség (pl. autó gumi, a fékrendszerek általában), de ipari alkalmazásokban jellemzően csökkenteni igyekszünk, hiszen növeli a berendezések energiaigényét, valamint kopáshoz vezet, ami a berendezések élettartamára van negatív hatással. [5]

3.2.2. Kopás

Kopásról akkor beszélünk, ha az kölcsönhatásban résztvevő felületekről anyagrészecskék válnak le. Fontos hangsúlyozni, hogy nem feltétlenül cél a kopás megszüntetése. Számos művelet létezik, amikor a kopás szerves része a technológiának (fémmegmunkálási folyamatok, általános csiszolási eljárások). Ezekben az esetekben a kopás optimalizálásáról beszélhetünk,

míg azokban az esetekben, amikor ez egy nem kívánt jelenség, a kopás minimalizálására, törekszünk. [5]

3.2.3. Kenés

A tribológia tudományának egyik jelentős területét képezik a kenőanyagok. A kenőanyagok alkalmazásának legfőbb célja a súrlódás, kopás csökkentése, és a berágódás elleni védelem, de emellett jelentős funkciójuk a súrlódásból származó hő elvezetése, a rendszer tisztán tartása, és a korrózió elleni védelem is. Kenési célra szilárd, folyékony és gáznemű anyagok egyaránt alkalmazhatók. [5]

A fenti jelenségek alapvetően határozzák meg valamennyi kenéstechnikai rendszer viselkedését. Jelen dolgozat vizsgálati tárgyát egy légkompresszor képezi, amelynek kenését egy új fejlesztésű polialfaolefin bázisú kompresszorolaj biztosítja. A kísérleti rendszer állapotváltozásának nyomon követésével lehetővé válik egy hagyományos (Group I alapú) és az új kenőanyag hatékonyságának összehasonlítása.

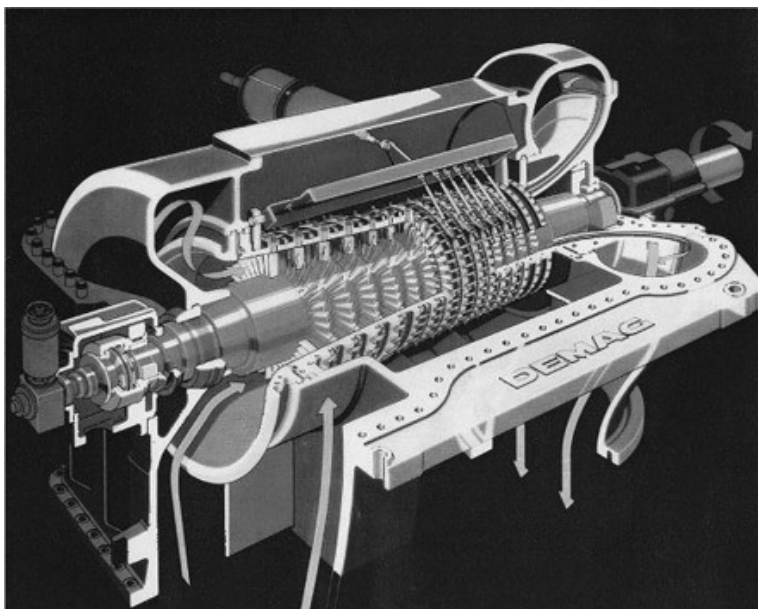
3.3. Kompresszorok

Az ipari technológiák fejlődéséhez jelentősen hozzájárult a sűrített gázok alkalmazásának elterjedése.

A kompresszorok olyan berendezések, amelyek gáz vagy gőz halmazállapotú közeg nyomását növelik, ezzel egyidejűleg mozgó alkatrészeik biztosítják annak áramlását. Két nagy csoportba sorolhatók, úgy mint térfogatkiszorítás elvén alapuló és dinamikus kompresszorok.

Az iparban legszélesebb körben alkalmazott típusok a dinamikus kompresszorok családjába tartozó turbó kompresszorok és a térfogatkiszorítás elvén működő dugattyús, valamint a rotációs kompresszorok.

A turbókompresszorok esetén a sűrítendő közeget egy járólapátkerék kis nyomású térből nagy nyomású térbe mozgatja. A komprimálás és a gáz szállítása egyszerre valósul meg. A keletkező áramlási energia az álló lapátokon nyomássá alakul. Ezen kompresszortípust nagy szállítási mennyiség és olajmentes szállított közeg jellemzi. A turbókompresszor felépítését az 5. ábra szemlélteti [7].



5. ábra: Turbókompresszor [8]

A dugattyús kompresszorok működése periodikus térfogatváltozáson alapul. A közeget egy dugattyú mozgása sűríti és nyomja ki a hengerből. A gáz beszívását, komprimálását és kinyomását szívó ill. nyomószelepek vezérlik. Erre a technológiára nagy elérhető végnyomás jellemző. [7] A 6. ábra egy dugattyús kompresszor felépítését szemlélteti.



6. ábra: Dugattyús kompresszor [9]

A rotációs kompresszorok között megkülönböztetünk csúszólapátos, illetve csavarkompresszorokat. A csúszólapátos kompresszorokban egy excentrikusan csapágyazott rotor forog, és a bele ágyazott csúszólapátok a centrifugális erő hatására a ház belső falának nyomódnak. Az így keletkező sűrítési cellák térfogata a rendszer excentritása miatt a forgás során változik. A gáz nyomásának növelése a forgási ciklus azon szakaszában jön létre, amikor a cellák térfogata csökken. [7] A csúszólapátos kompresszort a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra: Csúszólapátos kompresszor [10]

A csavar kompresszorok esetén két párhuzamosan futó forgóttest forog egy közös házban. A forgás során szűkülő teret hoznak létre, amelyekben megvalósul a szállított gáz sűrítése és szállítása egyaránt. Ennek a kompresszor típusnak létezik szárazfutású illetve olajkenésű típusa is. [7] A dolgozat tárgyát képező alkalmazástechnikai vizsgálat olajkenésű berendezésen történik. A 8. ábrán látható a csavarkompresszor felépítése.



8. ábra: Csavarkompresszor [11]

A rotációs kompresszorok nagy előnye a folyamatos, megbízható működés, alacsony fordulatszám, alacsony karbantartási igény, hosszú élettartam. [7]

3.4. Kompresszorok kenése

3.4.1. A kompresszorolajok általános jellemzői

Mint minden mozgó alkatrészt tartalmazó berendezésben, az iparban alkalmazott kompresszorok esetén is kiemelten fontos szerepet tölt be a megfelelő kenés, beleértve a kenőanyag szakszerű kiválasztását – tekintettel a kompresszor típusára és az üzemelési körülményekre – valamint karbantartását. A kompresszorolajok legfontosabb paraméterei a következők szerint foglalhatók össze:

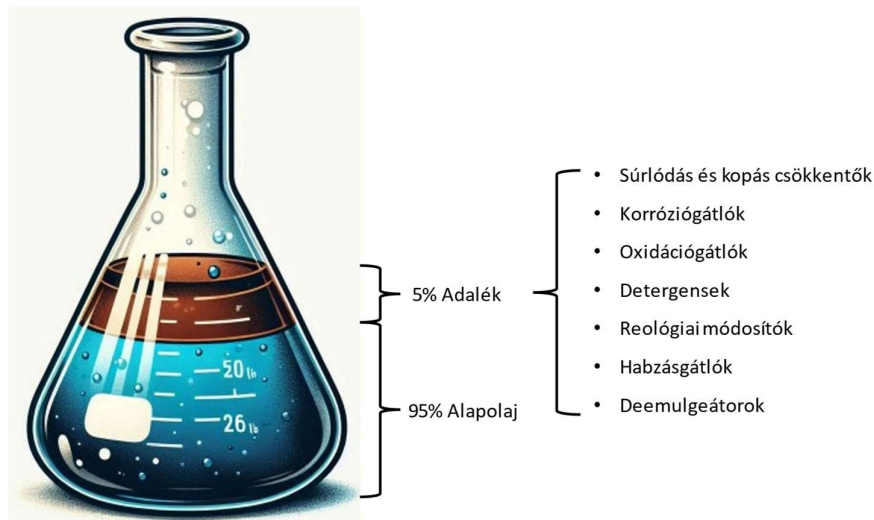
- **Viszkozitás:** A legfontosabb tulajdonság az olaj tömítési képessége, valamint a felületen kialakuló kenőfilm erőssége szempontjából, de befolyással van az olaj öblítő/hűtő hatására is. Itt szükséges megemlíteni a viszkozitási indexet is, amely biztosítja a kenőanyag egyenletes viselkedését szélsőséges hőmérsékleteken is. [7]

- **Kenőképeség:** Alapvető hatással bír a rendszerben jelenlevő súrlódásokból eredő kopások mérséklésében, kihatva ezzel a rendszer energiahatékonyságára, továbbá a kenőanyag és a rendszer élettartamára egyaránt. [7]
- **Korróziós jellemzők:** Mint a legtöbb mai ipari berendezés, a kompresszorok is számos fém alkatrészt tartalmaznak. Kiemelten fontos ezek korrózióvédelme, hiszen a korróziós folyamatok visszafordíthatatlan károsodást okoznak a fém alkatrészekben. Minden, a rendszerben fellelhető fém korrózió elleni védelmét biztosítani szükséges. [7]
- **Oxidációs stabilitás:** A kenőanyag azon képességére utal, hogy az üzemelés során kialakult körülmények között milyen mértékben képes ellenállni a degradációs folyamatoknak, megőrizve ezáltal kezdeti tulajdonságait. [7]
- **Párolgási hajlam:** Meghatározza a működés közben fellépő párolgási veszteség mértékét. Az illékony komponenseket magasabb arányban tartalmazó kenőanyagokból az alacsonyabb forráspontú komponensek üzem közben eltávoznak, ami mind humánegészségügyi, mind környezetvédelmi szempontból hátrányos. Ezzel szoros összefüggésben áll a kenőanyag lobbanáspontja, amely ha nem kellően magas, akkor munkabiztonsági kockázatot rejt. [7]

Az imént felsorolt kulcsparaméterek mellett további paraméterek is meghatározhatóak egy kompresszorolaj minőségével kapcsolatban:

- **Habzási tulajdonságok:** Egy habzásra hajlamos kenőanyag nem képes megfelelő stabilitású kenőfilm kialakítására a kenési pontokon, ami könnyen kenési elégtelenséghez vezethet, továbbá a kenőanyag hűtő hatását is csökkenti. [12]
- **Levegőelváló képesség:** Az olaj azon képességéről ad információt, hogy a folyadékfázisban található levegő buborékok milyen sebességgel távoznak kenőanyagból. Egy kompresszorolaj nem megfelelő levegőelválási képessége a berendezés hatékonyságának csökkenéséhez vezet. [12]
- **Víz-elváló képesség:** Rendkívül fontos, hogy az esetlegesen rendszerbe bejutó víz az olajtól kellő sebességgel elváljon. Ennek hiányában víz kering a rendszerben, ami a kenési funkciókat negatívan befolyásolja, ráadásul a korróziós folyamatokat gyorsítja. [12]

3.4.2. A kompresszorolajok összetétele



9. ábra :Kompresszorolajok általános összetétele [13]

- **Alapolaj:** A felhasználási terület szabta igények alapján az API bázisolaj kategóriák mindegyike (Gr I. – Gr V) előfordul a gyakorlatban. [13]
- **Korróziógátlók:** Legszélesebb körben a Ca-alkil-szulfonátokat alkalmazzák, de előfordulnak Ba-alkil-szulfonát típusú adalékok is. [13]
- **Oxidációgátló:** Aminos vagy fenolos jellegű vegyületek. [13]
- **Detergensek:** Jellemzően szalicilsav származékok, általában kalciummal semlegesítve. [13]
- **Reológiai módosítók:** Minden adalék, ami a kenőanyag viszkozitási jellemzőit vagy folyáspontját befolyásolja. Általában PMMA (polimetil-metakrilát) típusú polimerek, de széles körben használhatók a PIB (poliizobutilén) illetve a PAG (polialkilénglikol), szintetikus észter. [13]
- **Habzsgátló:** Polidimetil-sziloxán származékok, ploliakrilát és poliéter típusú vegyületek, amelyek csökkentik a kenőanyag habzási hajlamát. [13]
- **Demulgeátorok:** Olyan polimer jellegű vegyületek – általában poliéterek-, amelyek javítják a kenőanyag víztől való elválási hajlamát. [13]

3.5. A kompresszorolajok típusai

A fejlett ipar folyamatainak szerteágazó igényei kompresszorok széles választékát teszik szükségessé. Az áttekinthetőség és standardizálás végett nemzetközi szabványok foglalják össze és egységesítik a kompresszorolajok típusait, valamint az azokra vonatkozó, általános érvényű műszaki előírásokat. A 2. táblázatban a kompresszorolajok kategorizálása látható az ISO 6743-3:2003 szerint. [14]

2. táblázat: Levegő kompresszorok kategorizálása az ISO 6743-3 szerint [15]

Levegő kompresszorok kenőanyagainak csoportosítása				
Alkalmazás	Specifikus alkalmazás	ISO-L jelölés	Tipikus alkalmazás	Megjegyzés
Térfogat kizorítású légkompresszorok olajkenésű sűrítéssel	Dugattyús (keresztfejes vagy merülő) vagy rotációs csepegtető kenéssel	DAA	Alacsony terhelés	-
		DAB	Közepes terhelés	-
		DAC	Nehéz terhelés	-
	Rotációs olajbefecskendezéssel (forgólapátos és csavar)	DAG	Alacsony terhelés	-
		DAH	Közepes terhelés	-
		DAJ	Nehéz terhelés	-
Térfogatkizorítású kompresszorok olajmentes sűrítőtérrel	Folyadékgyűrűs kompresszorok és vízbefecskendezésű forgólapátos és csavarkompresszorok Olajmentes dugattyús kompresszorok Rotációs olajmentes kompresszorok	-	-	Hajtóművek és csapágyak kenésére alkalmas kenőanyagok
Dinamikus kompresszorok	Radiális és axiális turbókompresszorok	-	-	Hajtóművek és csapágyak kenésére alkalmas kenőanyagok

3.6. Polialfaolefin (PAO), mint alapolaj

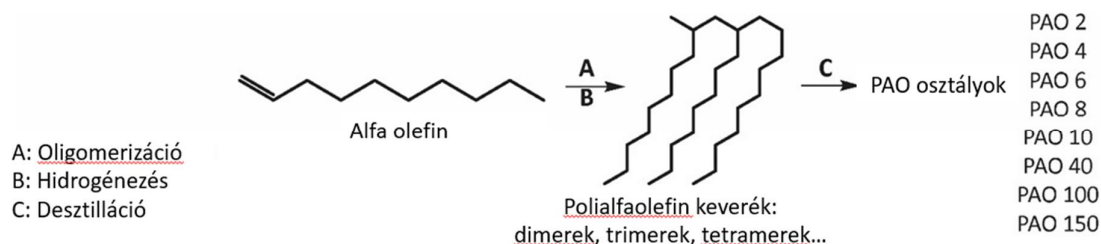
A polialfaolefin a legelterjedtebb szintetikus alapolaj, amelyet ipari és autóiipari kenőanyagokban használnak. Ez egy szintetikus szénhidrogén, amely nagy hasonlóságot mutat ásványolajok elágazó szénhidrogén szerkezetével.

A polialfaolefinek nem tartalmaznak gyűrűs szerkezeteket, kettős kötéseket, ként, nitrogént, vagy viaszos szénhidrogéneket. Ezek hiánya egy rendkívül apoláris alapolajat eredményez, magas viszkozitási indexszel (körülbelül 130), kiváló alacsony hőmérsékletű folyási és dermedésponti jellemzőkkel, jó oxidációs stabilitással, jó ásványolaj kompatibilitással. Jó összeférhetőséget mutat továbbá a kenőanyag rendszerekben általánosan alkalmazott tömítésekkel és festékekkel. Ellenőrzött szerkezetük miatt a PAO-k nem tartalmaznak könnyebb, illékonyabb (rövidebb szénláncú) szénhidrogéneket. Ez csökkenti az illékonyosságukat, kevesebb szénhidrogén-kibocsátást eredményez, és növeli a lobbanáspontot.

A PAO-kat széles körben használják autóiipari folyadékokban, valamint hidraulika-, hajtómű- és csapágyolajokban, szélsőségesen hideg éghajlaton vagy forró alkalmazási körülmények között. Széles hőmérséklet-tartományú zsírok alapolajaként is használatos.

Kiváló tulajdonságaik ellenére vannak bizonyos alkalmazástechnikai korlátaik: Az egyik alkalmazás, amelyben nem működtek jól, a magas hőmérsékletű (nagy nyomású) dugattyús légkompresszorok kenése, ahol a szeleplerakódások keletkeztek. Gyengeségei közé tartozik továbbá a tömítések zsugorítására való hajlam és a gyakori olajadalekok oldhatósági problémái. Általában szerves észterekkel és egyéb szintetikus alapolajokkal keverik, hogy olyan elegyet kapjanak, amely nem rendelkezik ezekkel a negatív tulajdonságokkal. A PAO-l gyenge tűzállósággal és biológiai lebonthatósággal rendelkezik. [16]

A polialfaolefinek gyártásának alapjául alfa olefinek szolgálnak. Ezek típusától és polimerizációs fokától függ a keletkező PAO viszkozitási osztálya. A PAO-k esetén a névben megadott szám adat a 100°C hőmérsékleten mért kinematikai viszkozitás. A 10. ábrán sematikusan bemutatom PAO-k előállításának folyamatát:



10. ábra: Polialfaolefinek előállítása [17]

Szintetikus alapolajok hatására vonatkozó vizsgálatok kimutatták, hogy a szintetikus alapolajok jelentősen javítják a kompresszorolajok oxidációs jellemzőit. Laboratóriumi mérések alapján nagy biztonsággal jósolható meg a kenőanyag gyakorlati alkalmazás közbeni viselkedése. A kenőanyag állapotának elsődleges vizsgálati paraméterei a kinematikai viszkozitás és a savszám. Ezek változása nagyon jó képet ad a kenőanyag állapotáról. Azon összetételek, amelyek Group II. alapolaj mellett szintetikus alapolajat is tartalmaznak, jobban ellenállnak az oxidációs hatásoknak, élettartamuk jelentősen hosszabb, mint a Group I, vagy tisztán Group II bázisolajra épülő termékeké. [18]

4. Probléma bemutatása

A 2012/27 EU energiahatékonyságra vonatkozó irányelv a nagyvállalatok számára kötelezően teljesítendő energiaauditot ír elő. Ennek teljesítésére két lehetőség áll a rendelkezésre: Külső, független cég által 4 évente elvégzett audit, vagy az ISO 50001 energiairányítási rendszer bevezetése. Az energiairányítási rendszer nem határoz meg konkrét energiateljesítménnyel kapcsolatos célszámokat. Az energiaszervezeteket kezelő egységes rendszerben az energiapolitika beépítésre került a MOL-LUB Kft. Integrált vezetői nyilatkozatába [19]:

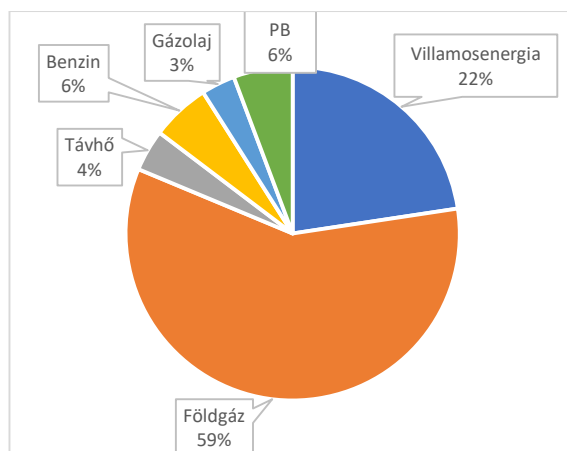
„Az energiairányítási rendszer működtetésével biztosítjuk szervezetünk energiateljesítményének folyamatos fejlesztését. Korszerű energiahatékony és innovatív megoldásokat alkalmazunk létesítményeink, üzemeltetése és karbantartása során, valamint figyelembe vesszük a termékek és szolgáltatások beszerzésénél az energia teljesítményre gyakorolt hatást.” [20]

A MOL-LUB Kft. energiairányítási rendszere meghatározása alapján a földgáz és a villamos energia kerültek meghatározásra, mint jelentős energiafajták.

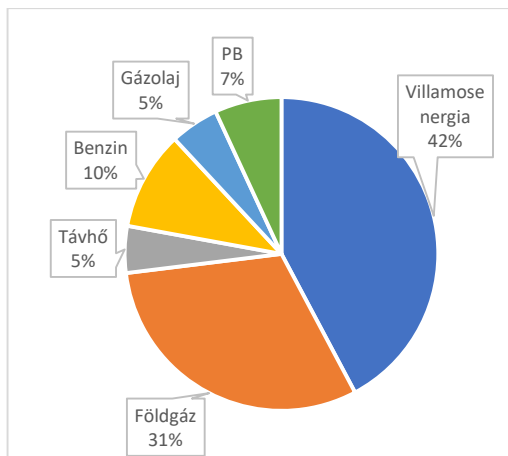
Átlagos évi felhasználás:

- Földgáz: 700.000 Nm³
- Villamos energia: 3.000.000 kWh

A következő ábrák szemléltetik a felhasznált energiafajták megoszlását fogyasztás (11. ábra) valamint összköltség (12. ábra) alapján:



11. ábra: Felhasznált energiafajták megoszlása fogyasztás szerint (GJ) [19]



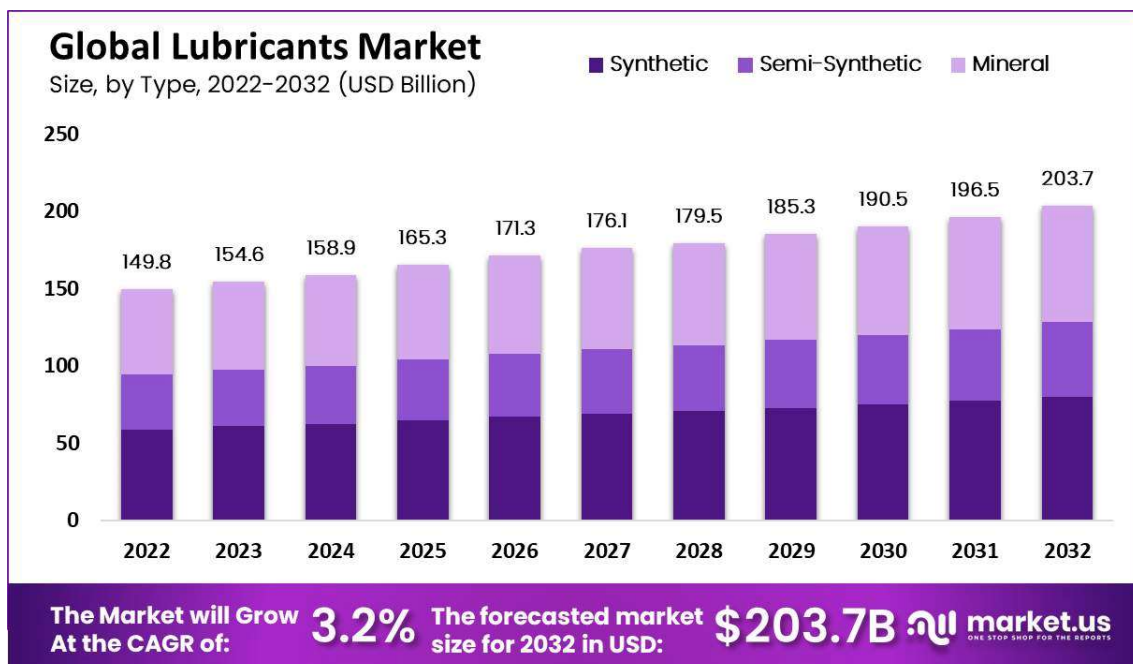
12. ábra: Felhasznált energiafajták megoszlása összköltség szerint (Ft) [19]

A MOL-LUB Kft Termékfejlesztési és Alkalmazástechnikai központja a vállalat célkitűzéseivel és irányelveivel összhangban folyamatosan figyelemmel kíséri az ipari trendeket, az iparág változásait, fejlődését. A begyűjtött információkat értékeli és a napi működésünkbe beépíti azokat.

Mindenek felett állnak az egészségvédelmi szempontok. Amennyiben egy adott kenőanyag minőséget különböző összetételekkel is meg lehet valósítani, minden esetben a az egészségvédelmi szempontból előnyösebbet részesül előnyben. (Bizonyos veszélyességi kategóriájú – pl. rákkeltő, reprotox, utódkárosító hatású- adalékok használata külön jóváhagyási folyamatot igényel.)

Vevői visszajelzések alapján a versenytárs kenőanyaggyártók folyamatosan bővítik a szintetikus alapolajokon alapuló kenőanyag kínálatukat. A régióban növekszik az érdeklődés a korszerűbb, hosszabb élettartamú kenőanyagok iránt.

Az iparági tendenciákból tisztán kirajzolódik a Group IV. (PAO) bázisolajon alapú termékek térhódítása. Az előrejelzések alapján ezen a kenőanyag típus esetén folyamatos piaci igény növekedés várható. A 13. ábra szemlélteti a globális kenőanyagpiaci változását illetve várható 2022-2032 viszonylatban.



13. ábra: A globális kenőanyagpiac tendenciái 2022-2032 időintervallumban

A vállalati stratégiának és a termékfejlesztési irányelveknek megfelelően indokoltta vált egy, a legkorszerűbb kenőanyag technológiát vizsgáló fejlesztési projekt indítása.

5. Tervezés/Probléma megoldása

5.1. A vizsgált kenőanyag

A kitűzött célnak megfelelően a laboratóriumi vizsgálatok során az új összetétel kidolgozása megtörtént. A referencia és az új összetételt a 3. és 4. táblázat mutatja. Amint az adatokból látszik az új összetétel nem csupán az alapolaj típusában tér el referencia terméktől, de trimetilolpropán (TMP) észter is beépítésre került. Ez a komponens a előnyösen hat a kenőanyag viszkozitási jellemzőire, oxidációs stabilitására, az adalékok oldhatóságára és jelentősen csökkenti a PAO alapolajok tömítéseket károsító hatását. Szintén a viszkozitási jellemzőket befolyásoló komponens a felhasznált poliizobutilén (PIB). Szembeötlő a teljesítmény adalékok mennyisége közötti különbség. A teljesítmény adalékok gyűjtő kategória magába foglalja a detergens, diszpergens, kopásgátló, korróziógátló, oxidációgátló és habzásgátló adalékokat. Jelentős különbség a két adalékrendszer között. hogy míg a referencia összetétel hagyományos Ca és Zn tartalmú adalékokra épül, az új összetétel hamumentes, tehát nem tartalmaz fém vegyületeket. Az adalékok mennyisége közötti eltérés a PAO alapolajok kedvezőbb tulajdonságaival, valamint a modernebb adaléktechnológiával magyarázható.

3. táblázat: A referencia (Group I alapú) összetétel

MOL Compressol R 46	
Megnevezés	Arány (%)
Group I bázisolaj	95,45
Akrilpolimer	0,30
Teljesítmény adalékok	4,25

4. táblázat: A kifejlesztett (PAO alapú) összetétel

MOL Compressol RS 46 PAO	
Megnevezés	Arány (%)
PAO szintetikus olaj	88,90
Trimetilolpropán (TMP) észter	5,00
Poliizobutilén (PIB)	5,00
Akrilpolimer	0,50
Teljesítmény adalékok	0,60

5.

5.2. A kenőanyag megfelelőségét vizsgáló paraméterek

A 5. táblázat szemlélteti a fejlesztés során vizsgált fizikai paramétereket.

Az első szembeszökő különbség a viszkozitási index. Az eltérés köszönhető egyfelől a módosított alapolaj rendszernek, de hozzájárulnak a TMP észter és a PIB adalékok is. Ezen paraméter szoros összefüggésben áll hidegindítás során a kenőfilm kialakulásának sebességével, de kedvezően hat az indítási áramfelvételre is.

Szintén jelentős eltérés mutatkozik a folyáspontban. Az új összetétel esetében mért értéket alapvetően a PAO alapolajok biztosítják, elsősorban szélsőséges alkalmazási körülmények között van jelentősége.

A habzási vizsgálatok eredményei összhangban állnak a PAO alapolajok nagyfokú apoláris jellegével és tisztaságával. Ugyanezen tulajdonságok befolyásolják a víztől való elválási hajlamot, ami szintén jobbnak bizonyult, ám itt nem elhanyagolható az adalékok kisebb beépülési aránya, hiszen a kenőanyag adalékok jelentős része poláris vegyület, amelyek negatívan befolyásolják ezt a paramétert.

Az öregítési vizsgálat során mért számottevően alacsonyabb párolgási veszteség annak tudható be, hogy míg a Group I. bázisolajok különböző lánchosszúságú és szerkezetű – ezáltal eltérő illékonyosságú - komponensek elegyei, addig a PAO alapolajok gyártási technológiájukból adódóan azonos szerkezetű és közel azonos illékonyosságú komponensekből tevődnek össze, nem tartalmaznak alacsony móltömegű, illékony komponenseket. Felhasználás során ez kisebb kihordódást, környezeti és egészségügyi terhelést jelent. Az alacsonyabb Conradson kokszosodási szám (CCT) szintén előnyösebb, mivel a kenőanyag azon hajlamának mérőszáma, hogy milyen mértékben hajlamos a kokszt képezésre. A kenőanyagból hátramaradó koksztolási maradék lerakódásokat okozhat, fokozhatja a korróziós hajlamot.

A négygolyós kopásvizsgálat az új adalékrendszer jobb kopásgátló hatását támasztja alá. Ez a tulajdonság csekélyebb súrlódásra utal, ami hozzájárul a berendezés élettartamának meghosszabbításához, valamint kisebb áramfelvételhez vezethet.

Az ICP vizsgálati eredmények betekintést engednek a kenőanyagok összetételébe, adalékrendszerébe. valamint kiindulási értéként szolgálnak a használt kenőanyag diagnosztikai értékelés során. A változásukból nem csupán az adalékrendszer állapotáról nyerhető

információ, de következtetéseket vonhatók le a rendszer kopási állapotára, korróziós folyamatokra, és nem utolsósorban a rendszerbe került szennyeződésekre vonatkozóan is.

5. táblázat: A Group I. és a PAO alapú összetételek vizsgálati eredményei

Vizsgálat	Mért.egys.	MOL Compressol R 46	MOL Compressol RS 46 PAO
Kinematikai viszkozitás 40 °C-on	mm ² /s	47,17	46,31
Kinematikai viszkozitás 100 °C-on	mm ² /s	6,803	8,068
Viszkozitási index		97	145
Folyáspont	°C	-36	-67
Savszám (AN)	mg KOH/g	1,6	0,24
Habzás SI			
- habzási hajlam SI	cm ³	10	0
- habstabilitás SI	cm ³	0	0
Habzás SII			
- habzási hajlam SII	cm ³	40	30
- habstabilitás SII	cm ³	0	0
Levegőelváló képesség 50°C-on	min	9	1
Víztől való elválási hajlam 54°C-on			
- szétválási idő 54°C-on	min	25	15
- fázismegoszlás 54 °C (olaj-víz-emulzió)	cm ³	42-38-0	41-39-0
- emulzió térfogat 60 perc után	cm ³		0
Korróziógátló tulajdonság acélon, "B"		kiállja	kiállja
Öregítési vizsgálat			
- párolgási veszteség	%	8,8	2,7
- Conradson koksosodási szám (CCT)	%(m/m)	0,96	0,153
Oxidációs stabilitás (ROCOT, 140 °C)			
- párolgási veszteség	%	1,8	0,4
- viszkozitásemelkedés 40 °C-on	%	10,7	2,8
- semlegesítési szám öregítés után	mg KOH/g	2,3	0,3
- iszaptartalom	%(m/m)	0,0003	0,001
Négygolyós vizsgálat			
- összehegedési terhelés	kg	160	160
- kopási átmérő (1 h, 40 kg)	mm	0,46	0,33
ICP vizsgálat			
Báriumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1
Kalciumtartalom (ICP)	mg/kg	1037	<1
Magnéziumtartalom (ICP)	mg/kg	3	<1
Foszfortartalom (ICP)	mg/kg	526	49
Cinktartalom (ICP)	mg/kg	578	<1
Kéntartalom (ICP)	mg/kg	2646	593
Szilíciumtartalom (ICP)	mg/kg	3	<1

5.3. A tesztberendezés

A kísérleti összetétel alkalmazástechnikai vizsgálatát a MOL-LUB Kft. Olajkeverő üzemrészét ellátó Atlas Copco GA 55 típusú, csavarkompresszorral hajtottam végre. A kompresszor kulcsfontosságú eleme az üzemrész termelésének, mivel sűrített levegővel látja el az anyagmozgatásért felelős egységeket, a hordó töltőt, a kis kiszerelt (1-25 kg) termékek töltősorait. Emellett biztosítja a gyártás során a keresztzennyezések kiküszöbölését szolgáló csőgörény mozgatását, valamint a folyamatos működést biztosító műszerlevegőt. A 14. ábrán a vizsgálati berendezés látható.

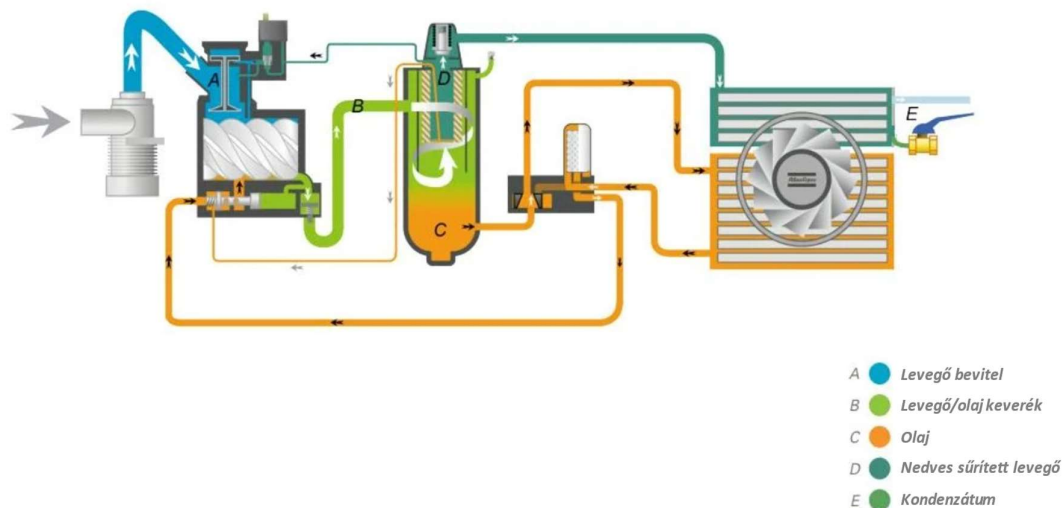


14. ábra: Atlas Copco GA 55 csavarkompresszor

A berendezés legfontosabb paraméterei:

- Típus: csavar kompresszor
- Teljesítmény: 55 kW
- Üzemelés: szakaszos
- Meghajtás: villanymotor
- Olajtöltet: 20 l
- Hűtés: levegő

A 15. ábra a teszt berendezés egyszerűsített anyagáramát szemlélteti.



15. ábra: Az Atlas Copco GA 55 anyagárama

5.4. A mérés menete

A vizsgálat első fázisában a referencia termékként szolgáló MOL Compressol R 46 rotációs kompresszorolaj került betöltésre. A kísérlet 2024.06.06-án kezdődött, 20 liter olaj betöltésével. Rögzítettem a kompresszor futott óráinak aktuális számát, valamint a villamos mérőóra aktuális állását. Ugyanezeket az adatokat minden mintavételkor leolvastam és a 6. táblázatban összegeztem. A kapott adatokból meghatároztam a kompresszor felvett teljesítményét a $P=W/t$ képlet szerint.

6. táblázat: A MOL Compressol R 46 futási adatai

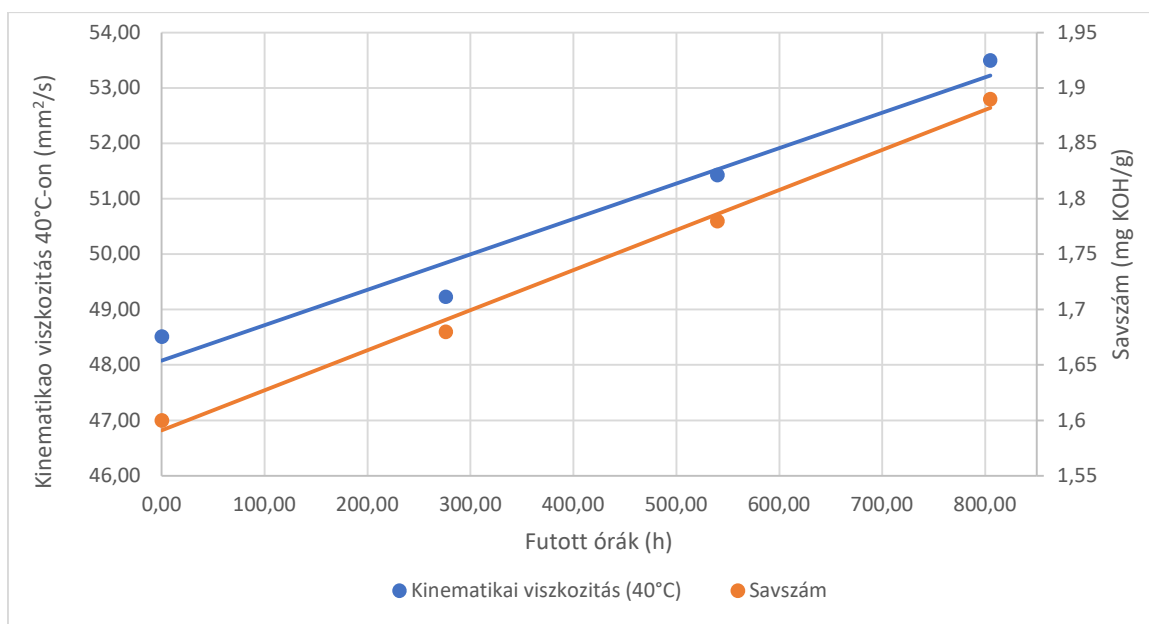
MOL Compressol R 46		
Dátum	Futott óra (h)	Villanyóra (kWh)
2024.06.06	12076	178377
2024.07.04	12352	193902
2024.08.01	12616	209225
2024.09.10	12881	224510
Futási adatok	805	46133
Teljesítmény (kW)	57,31	

A betöltött kenőanyag jól bevált piaci termék, ezért annak gyakori kenőanyagdiagnosztikai vizsgálata nem volt indokolt. Ennek megfelelően havi mintázást határoztam meg. A kenőanyag vizsgálati eredményeit a 7. táblázat tartalmazza.

7. táblázat: A MOL Compressol R 46 tulajdonságainak változása

Vizsgálat	Mért.egys.	MOL Compressol R 46			
Üzemóra		0	276	540	805
Külső		tiszta, fényes, barna	tiszta, fényes, barna	tiszta, barna	sötétbarna
Kinematikai viszkozitás 40 °C-on	mm ² /s	48,51	49,23	50,2	53,5
Kinematikai viszkozitás 100 °C-on	mm ² /s	6,8	7,1	7,24	7,48
Viszkozitás index		97	101	103	101
Savszám (AN)	mg KOH/g	1,6	1,68	1,72	1,89
Víztartalom (Kemencés KF)	mg/kg	106			90
Habzás SI					
- habzási hajlam SI	cm ³	10			20
- habstabilitás SI	cm ³	0			0
Habzás SII					
- habzási hajlam SII	cm ³	40			50
- habstabilitás SII	cm ³	0			0
Levegőelváló képesség 50°C-on	min	9			8
Víztől való elválási hajlam 54°C-on					
- szétválási idő 54°C-on	min	25			45
- fázismegoszlás 54 °C (olaj-víz-emulzió)	cm ³	42-38-0			42-37-1

A kenőanyag állapotának legszembeszökőbb változásai a kinematikai viszkozitás emelkedése, valamint a savszám kis mértékű, de folyamatos emelkedése, melyeket a 16. ábra szemléltet. A mért változás összhangban áll az általános kenőanyagdiagnosztikai tapasztalatokkal. A viszkozitás emelkedése a használat során keletkező öregedési termékek, szilárd szennyezők kialakulásának tudhatók be. A savszám változása a folyamatos igénybevétel hatására bekövetkező kenőanyag degradációs folyamatok (oxidáció) előrehaladtával magyarázható, melyek során karbonsav típusú vegyületek képződnek. A kinematikai viszkozitás és a savszám változását a futott órák függvényében a 16. ábra szemlélteti.



16. ábra: MOL Compressol R 46 kinematikai viszkozitás (40°C) és savszám változása a futott órák függvényében

A kenőanyag elemtartalmának változását a 8. táblázat tartalmazza. Az ICP vizsgálati eredmények – bár kis mennyiségű vas megjelent a mintában – nem utaltak rendellenes kopásra. A mintában 15 ppm nátrium is kimutatható volt, ami kis mennyiségű külső szennyeződés bejutására utal. Jelentős kopásra, illetve korrózióra utaló jel nem volt kimutatható a mintából. Fontos hangsúlyozni, hogy az adalék elemek látható ingadozása

8. táblázat: A MOL Compressol R 46 elemtartalmának változása

Vizsgálat	Mért.egys.	MOL Compressol R 46			
Üzemóra		0	276	540	805
ICP vizsgálat					
Báriumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Kalciumtartalom (ICP)	mg/kg	1037	1054	997	959
Magnéziumtartalom (ICP)	mg/kg	3	2	4	5
Foszfortartalom (ICP)	mg/kg	526	533	519	521
Cinktartalom (ICP)	mg/kg	578	597	582	618
Kéntartalom (ICP)	mg/kg	2646	2490	2387	2100
Nátriumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	15
Bórtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Káliumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	2
Szilíciumtartalom (ICP)	mg/kg	3	1	2	1
Alumíniumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	1
Krómtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Réztartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Vastartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	4
Mangántartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Molibdéntartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Nikkeltartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Ólomtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Óntartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Ezüsttartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Lítiumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Titán tartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Vanádiumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Kadmiumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1

A vizsgálat második fázisa 2024.09.10-én vette kezdetét. A tesz indítása előtt az előző olaj leengedését követően adalékoltalan PAO 8 alapolajjal lett átmosva a rendszer. A mosófolyadék választásnak az volt az alapja, hogy Group I alapolajjal – így az előző kenőanyag maradékaival. - tökéletesen elegyedik, az új kenőanyaghoz képest nem visz idegen anyagot a rendszerbe, hiszen annak az egyik alapolaja, illetve a 40°C-on mért kinematikai viszkozitása 46,23 mm²/s, ami azonos a tesztelni kívánt kenőanyag viszkozitásával. A rendszer mosatása három lépésben történt, minden alkalommal 10 liter PAO 8 alapolajjal 5 – 5 percig járattva, majd leengedve a folyadékot. A harmadik mosófolyadék leengedését követően betöltésre került a tesztre készített 20 liter MOL Compressol RS 46 PAO minta. Kísérleti termékről lévén szó heti mintavételt határoztam meg. A meghatározott periódustól az első minta esetén tértem el, amit 3 nap után

vettem arra az esetre, ha bármilyen nem várt rendellenesség a kompresszor üzembiztonságát veszélyeztetné. A kísérleti fázis utolsó mintavételét 2024.10.15-re határoztam meg, a kenőanyag öt hetes futási periódusának végére, azt követően havi mintavételt tűztem ki. Az első minta esetén széleskörű vizsgálati sort határoztam meg, beleértve a fizikai jellemzők széleskörű vizsgálatát, úgy mint habzási jellemzők, víztől való elválási hajlam, levegőelválo képesség. A további minták esetén a kompresszorolajok általános használt kenőanyag diagnosztikai vizsgálati sorára hagytam. A vizsgálati sor meghatározása során figyelembe kellett vennem a töltet viszonylag kis mennyiségét (20 l). Az összes minta részletes vizsgálata esetén, a töltet mennyiségéhez képest jelentős mennyiségű utántöltésre lett volna szükség, ami az eredmények számottevő torzulásához vezet. A futott órák számát és a villamos mérőóra állását valamint a kompresszor teljesítményét a 9. táblázat tartalmazza. A teljesítményt a referencia mintával azonos módon határoztam meg.

9. táblázat: A MOL Compressol RS 46 PAO futási adatai

MOL Compressol RS 46 PAO		
Dátum	Futott óra (h)	Villanyóra (kWh)
2024.09.10	12881	224515
2024.09.13	12928	226940
2024.09.17	12961	228796
2024.09.24	13026	232545
2024.10.01	13089	235995
2024.10.08	13153	238843
2024.10.15	13187	241908
Futási adatok	306	17393
Teljesítmény (kW)	56,84	

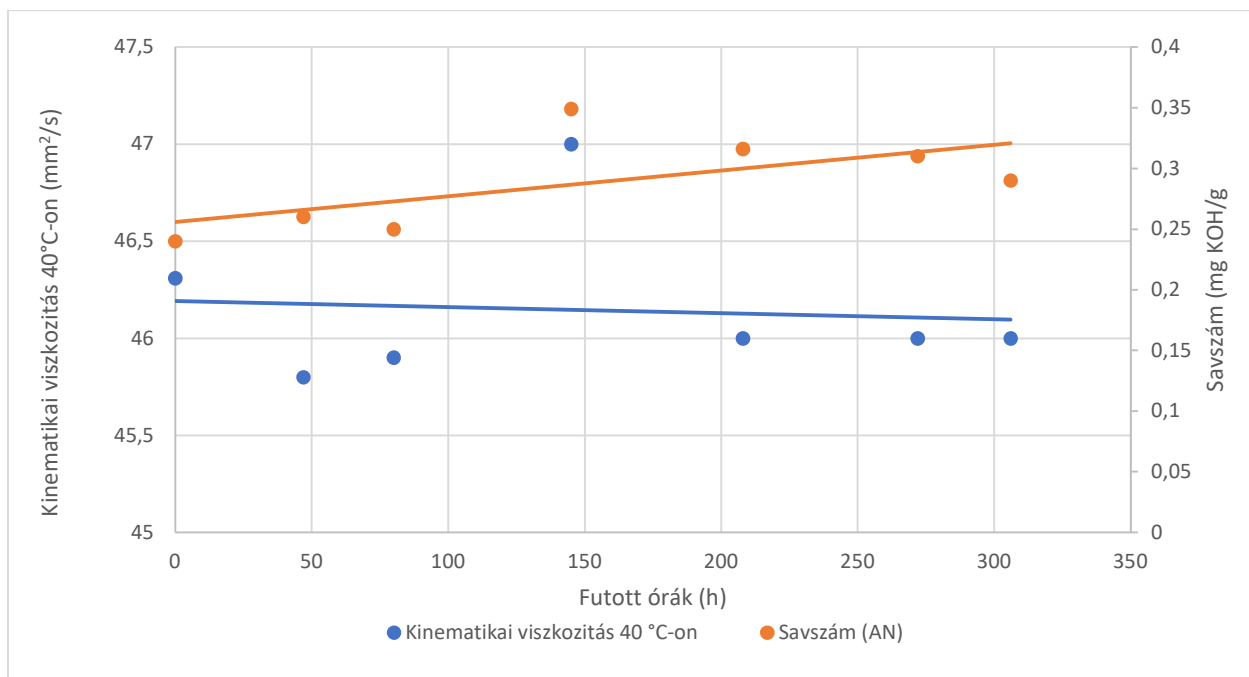
A kenőanyag üzemi alkalmazástechnikai vizsgálatához kapcsolódó adatgyűjtést a 2024.10.15-i mintáig folytattam. Az üzemkísérlet során gyűjtött minták vizsgálati eredményeit a 10. táblázat tartalmazza. Az 47 futott óra után vett minta habzási jellemzőinek és a víztől való elválási hajlamának romlása a friss olaj jó mosó tulajdonságaira vezethető vissza. A korábbi töltet olyan maradványait is magába vette az olaj, amelyek a tesztet megelőző öblítések során a rendszerben maradtak. A viszkozitási index kezdeti csökkenése szintén az előző kenőanyag töltet maradvékainak tudható be. Figyelemreméltó továbbá a minta víztartalma, ami magyarázatot ad a zavaros, homályos megjelenésre. Mivel a későbbi minták megjelenése

megfelelő volt, kijelenthető, hogy az ismeretlen eredetű vizes szennyeződés kihordódott a rendszerből.

10. táblázat: A MOL Compressol RS 46 PAO vizsgálati eredményei

Vizsgálat	Mért.egys.	MOL Compressol RS 46 PAO						
Üzemóra (h)		0	47	80	145	208	272	306
Külső		fényes, sárga	homályos, zavaros, barna	barna, tiszta	barna, tiszta	barna, tiszta	barna, tiszta	barna, tiszta
Kinematikai viszkozitás 40 °C-on	mm²/s	46,31	45,8	45,9	47	46,1	46,4	46,1
Kinematikai viszkozitás 100 °C-on	mm ² /s	8,068	7,78	7,74	7,7	7,78	7,89	7,78
Viszkozitási index		147	139	137	131	139	143	143
Savszám (AN)	mg KOH/g	0,24	0,26	0,25	0,349	0,316	0,31	0,29
Habzási jellemző SI				Nem vizsgált paraméterek				
- habzási hajlam SI	cm ³	0	140					
- habstabilitás SI	cm ³	0	0					
- habmegszűnési idő SI	s	0	67					
Víztől való elválási hajlam 54°C-on								
- szétválási idő 54°C-on	min	15	40					
- fázismegoszlás 54 °C (olaj-víz-emulzió)	cm ³	41-39-0	41-39-0					
Víztartalom (KF)	mg/kg	36	646					

A referencia mintához képest jelentős különbség, hogy a 40°C-on mért kinematikai viszkozitás gyakorlatilag állandónak tekinthető, az üzemkísérleti fázis alatt nem emelkedett. A savszám változásának mértéke is jelentősen kisebb volt, mint a referencia termék esetén, ami összhangban áll az irodalmi áttekintésben foglaltak alapján várt kedvezőbb oxidációs stabilitási tulajdonságokkal. A teszt eddigi eredményei alátámasztják a szintetikus kenőanyagtól várható hosszabb élettartamot. Ezen alapvető fontosságú paraméterek változását az üzemórák függvényében a 17. ábra szemlélteti.



17. ábra: MOL Compressol RS 46 PAO kinematikai viszkozitás (40°C) és savszám változása a futott órák függvényében

Az üzemkísérleti minták elemtartalom vizsgálatainak eredményeit a 11. táblázatban összegeztem. A 47 futott óra után vett mintában foszfor, cink és kalcium is kimutatható volt. Mind a három elem egyértelműen az előző töltet maradékaira utal, mivel az cink-dialkilditiofoszfát (ZDDP) és kalcium-szalicilát típusú adalékokat is tartalmazott. Látható továbbá, hogy a teszt időtartama alatt sem kopásra, sem korrózióra utaló elemek nem voltak kimutathatók a kenőanyagban, ami alátámasztja az új összetétel műszaki megfelelőségét. A kenőanyag mechanikai szennyeződés vizsgálatai alapján a rendszerben keletkező kopadékok mennyisége és mérete egyaránt az igénybevételnek megfelelő tartományba tartozott, kenési elégtelenségre utaló kopásrészecske nem volt kimutatható a rendszerben. A mechanikai szennyeződés vizsgálatok mikroszkópos felvételeit az 1. számú melléklet tartalmazza.

11. táblázat: A MOL Compressol RS 46 PAO elemtartalmának változása

Vizsgálat	Mért.egys.	MOL Compressol RS 46 PAO						
Üzemóra (h)		0	47	80	145	208	272	306
ICP vizsgálat								
Adalék elemek								
Báriumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Kalciumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	85	86	87	73	63	58
Magnéziumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Foszfortartalom (ICP)	mg/kg	49	91	82	81	76	47	55
Cinktartalom (ICP)	mg/kg	1	54	54	57	50	48	43
Kéntartalom (ICP)	mg/kg	421	476	437	425	418	400	430
Bórtartalom (ICP)	mg/kg	1	<1	<1	<1	<1	1	<1
Molibdéntartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Szennyezők								
Nátriumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	1	1	1	1	1	1
Káliumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Szilíciumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Lítiumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Kopás								
Alumíniumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Krómtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Réztartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Vastartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Mangántartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Nikkeltartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ólomtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Óntartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ezüsttartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Lítiumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Titán tartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Vanádiumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Kadmiumtartalom (ICP)	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

5.5. Értékelés

A referencia és a kísérleti összetétel futási adatai alapján - a mintázások miatt sűrűbb időközönként és több alkalommal megszakított üzemmenet ellenére - a MOL Compressol RS 46 PAO estén 0,8%-kal alacsonyabb felvett teljesítmény mutatható ki. A számításhoz az 1. képletet használtam:

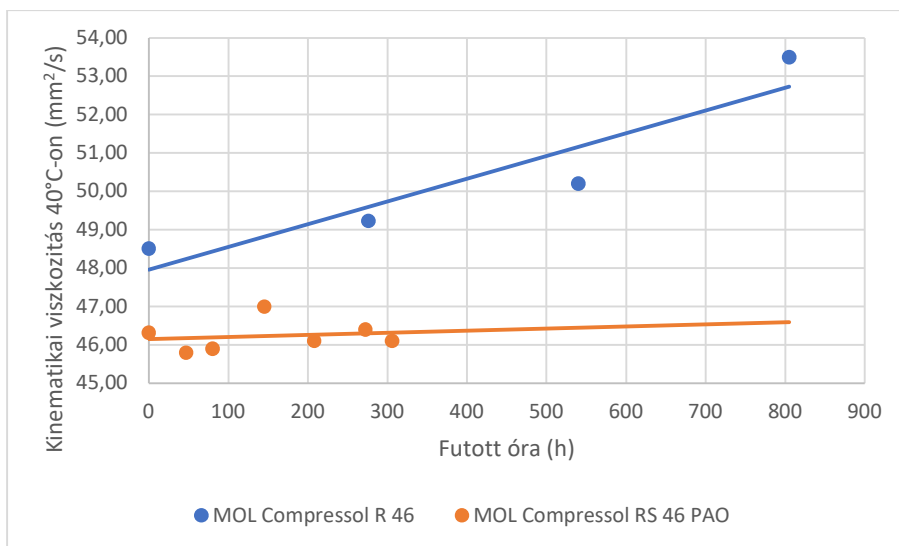
$$\Delta P = \left(\left(\frac{P_{Ref}}{P_{Kis}} \right) - 1 \right) * 100$$

P_{Ref} : A referencia termék esetén számított teljesítmény

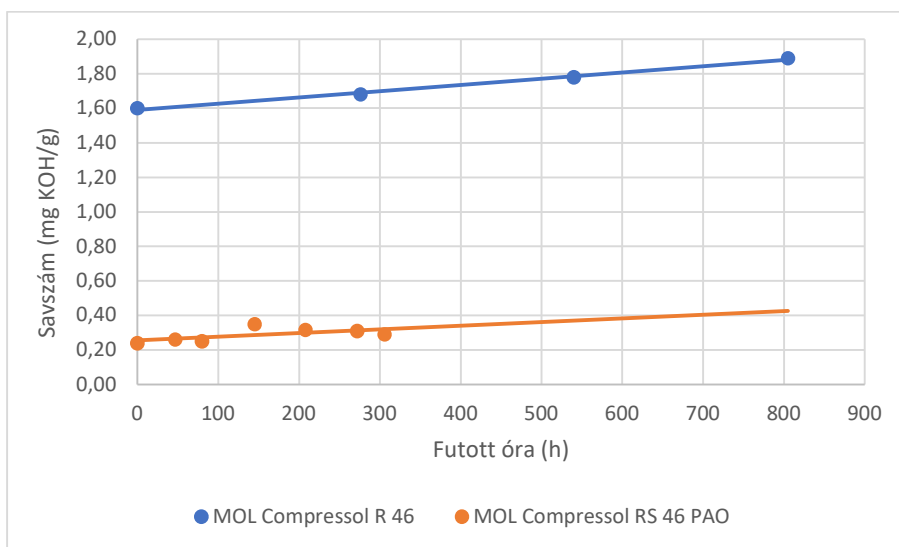
P_{Kis} : A kísérleti termék esetén számított teljesítmény

1. Képlet: A teljesítmény változásának számítása

A referencia termék és a kísérleti termék kinematikai viszkozitás és savszám változásának mértéke alapján a kísérleti termék használata esetén jelentős csereperiódus növekedés várható el. A két termék ezen paramétereinek változási sebessége közötti különbséget a 18. és 19. ábrán szemléltetem. A referencia termék viszkozitásának emelkedése összhangban áll a kompresszor karbantartója által meghatározott által meghatározott 800 órás csereperiódussal. A 18. diagramról leolvasható, hogy a kenőanyag kinematikai viszkozitása a csereperiódus végére az ISO viszkozitási tartomány felső értéke fölé emelkedett. (Az ISO viszkozitási osztályozás szerint a kenőanyag viszkozitása a meghatározott viszkozitási osztály középpértéke $\pm 10\%$ tartományban kell legyen, ami a vizsgált kenőanyag esetén $41,4 - 50,6 \text{ mm}^2/\text{s}$). A viszkozitás emelkedése kenési szempontból sem kívánatos jelenség, emellett negatív hatással van a berendezés energiahatékonyására. A kísérleti kenőanyag viszkozitás adatainak extrapolálásával látható, hogy a 800 órás csereperiódus végére sem várható jelentős viszkozitás-emelkedés.



18. ábra: A referencia és a teszt kenőanyag kinematikai viszkozitásának változása



19. ábra: A referencia és a teszt kenőanyag savszámának változása

Az ICP vizsgálatok eredményeit áttekintve levonható a következtetés, hogy mind a referencia, mind a kísérleti kenőanyag megfelelően bizonyult kenési és korrózióvédelmi szempontból egyaránt.

6. Gazdasági számítás

A szakdolgozat során részletezett kísérlet gazdasági vonatkozásait két lépésben elemeztem. Először a kenőanyag előállítási költségeinek hasonlítottam össze. Az előállítási költség tartalmazza a termék anyagköltségét, valamint az üzemi ún. fix költségeket, amelyek az előbbihez adódnak hozzá. A két termék fix költsége a komponensek hasonló száma és a termékek azonos jellege miatt megegyezik, így az előállítási költség az anyagköltségek különbségéből adódik. A számítások eredményét a 12. táblázat tartalmazza:

12. táblázat: A referencia és kísérleti összetételek üzemkísérleti költségének összehasonlítása

	Előállítási költség (Ft/kg)	Sűrűség (g/cm ³)	20 liter töltet anyagköltsége (Ft)	Töltet költség változás (Ft)
MOL Compresssol R 46	653	0,877	11453,62	5243,06
MOL Compresssol RS 46 PAO	1001	0,834	16696,68	

Az energiahatékonyságra vonatkozó számítás során a kompresszor számított teljesítményéből a javasolt 800 órás csereperiódusra extrapoláltam a fogyasztás értékeit. A kapott eredményeket beszorozva az ipari áram egységárával megkaptam a teljes csereperiódusra kapott fogyasztást mindkét olaj esetén, majd meghatároztam a két érték különbségét. A számítások eredményét a 13. táblázat tartalmazza:

13. táblázat: Energhatékonyági számítás 800 futott órára vonatkoztatva.

	Kompresszor teljesítmény (kW)	800 órára kalkulált fogyasztás (kWh)	Ipari áram beszerzési ára (Ft/kWh)	A teljes fogyasztás költsége (Ft)	Fogyasztás költség változás (Ft)
MOL Compresssol R 46	57,31	45848	104,5	1604680	-39292
MOL Compresssol RS 46 PAO	56,84	45472		1591520	

Az elért eredmények alapján a vizsgált kompresszor esetén már rövid távon is költségmegtakarítás érhető el szintetikus alapolajon formulázott kenőanyag felhasználásával. A projekt jelenlegi státuszában a várt csereperiódus kiterjesztésre vonatkozóan nem állnak rendelkezésre adatok, így annak a költségcsökkentésre gyakorolt hatása nem képezid a dolgozat tárgyát.

7. Összefoglalás

Szakedolgozatomban célul tűztem ki egy polialfaolefin alapú kompresszorolaj laboratóriumi kifejlesztését és alkalmazástechnikai vizsgálatát, amely során nyomon követtem a kenőanyag és a kompresszor állapotának változását, valamint összehasonlítottam referencia termékként kezelt Group I. bázisolajon és a kísérleti terméknek tekintett Group IV. bázisolajon formulázott kenőanyagok energetikai hatékonyságát. A laboratóriumi formulázás megvalósult, a vizsgálati eredmények alapján a kísérleti összetétel elérte a referenciatermék teljesítményszintjét, a szintetikus alapolajok által befolyásolt paraméterek, úgy mint oxidációs stabilitás, viszkozitási index, folyáspont pedig jelentősen felülmúlta azt.

Az üzemkísérlet során gyűjtött információkat megpróbáltam logikus sorrendben, jól követhető struktúrában szemléltetni. Az üzemkísérlet vizsgálati eredményeinek értékelése kimutatta, hogy a kísérleti kenőanyag műszaki szempontból felülmúlja a referencia terméket. A lassabb kenőanyag degradáció mellett költségmegtakarítást is sikerült elérni a vizsgált rendszerben.

Iparági tapasztalatok alapján a kenőanyag által elérhető energia megtakarítás mértéke az adott berendezés teljesítményének ill. terhelésének emelkedésével nő. Ezen információ és a rendelkezésre álló eredmények alapján indokolt a kísérleti kenőanyag további üzemi tesztelése. Ez magába foglalja a dolgozat során vizsgált rendszer további vizsgálatát a kenőanyag csereperiódusának meghatározása, illetve lehetséges meghosszabbítása céljából, és a vizsgálat egyéb berendezésekre való kiterjesztését is. A további berendezésekben való vizsgálat időpontját és körülményeit a jelenleg futó teszt végén, az eredmények függvényében lehetséges meghatározni.

8. Summary

My thesis aimed the laboratory development and application test of a polyalphaolefin-based compressor oil. During field trial, I monitored changes of the lubricant and compressor condition as well. Energy efficiency of lubricants formulated with Group I base oil (reference product) and Group IV base oil (experimental product) were compared. The laboratory formulation was successful, and based on the test results, the experimental composition reached the performance level of the reference product. The parameters influenced by the synthetic base oils, such as oxidation stability, viscosity index, and pour point, significantly exceeded the reference product.

The information collected during the field test was presented in a logical and well-structured manner. The evaluation of the field trial results showed that the experimental lubricant outperforms the reference product from a technical point of view. In addition to slower lubricant degradation, cost savings were also achieved in the system used for the test.

Based on industry experience, the amount of energy savings achievable by the lubricant increases with the increase in the power and load of the equipment. Based on this information and the available results, further operational testing of the experimental lubricant is reasonable. This includes further investigation of the system examined in the thesis to determine the lubricant change period, and also extending the investigation to other equipment. The time and circumstances of the investigation in other equipment can be determined at the end of the currently running test, according to the results.

9. Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Szilágyi Bálint
A Hallgató Neptun kódja: Z50GRB
A dolgozat címe: Polialfaolefin alapú kompresszorolaj fejlesztése, állapotváltozásának nyomon követése, energiahatékonyság vizsgálata
A megjelenés éve: 2024
A tanszék neve: Anyagtudományi és gépipari folyamatok Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ 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: Almásfüzitő, 2024.10.24.


Hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Szilágyi Bálint (Neptun azonosítója: Z50GRB) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: 2024 év október hó 25 nap


Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

NYILATKOZAT

Alulírott Szilágyi Bálint, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllői Campus, Kenéstechnikai és tribo-diagnosztikai szakmérnök szak nappali/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 Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom 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: 2024 év október hó 25 nap



Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Szakdolgozatot 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: 2024 év október hó 25 nap



Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

10.Irodalomjegyzék

- [1] „Grand View Research,” Grand View Research, [Online]. Available: www.grandviewresearch.com. [Hozzáférés dátuma: 30 09 2024].
- [2] „Base Oil Groups Explained,” Machinery Lubrication, [Online]. Available: <https://www.machinerylubrication.com>. [Hozzáférés dátuma: 02 10 2024].
- [3] „MOL Magyarország,” MOL Nyrt., [Online]. Available: www.mol.hu. [Hozzáférés dátuma: 01 10 2024].
- [4] „MIL-COMM: U.S. Military Lubrication Technology,” MIL-COMM, [Online]. Available: <https://mil-comm.com>. [Hozzáférés dátuma: 01 10 2024].
- [5] I. Valasek, A tribológia alapjai, Budapest: Tribotechnik Kft., 2002.
- [6] R. Listván, Szerző, *Lubrication technology basics*. [Performance]. MOL-LUB Kft., 2022.
- [7] I. Valasek, „Ipari tribológia,” Budapest, Tribotechnik Kft., 2003, pp. 145-148.
- [8] „Science Direct - Turbo-Compressors,” Science Direct, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com>. [Hozzáférés dátuma: 05 10 2024].
- [9] „Nemzeti Klímavédelmi Hatóság,” Nemzeti Klímavédelmi Hatóság, [Online]. Available: <https://nemzetiklimavedelmihatosag.kormany.hu>. [Hozzáférés dátuma: 03 10 2024].
- [10] F. Borrelli, „Pneumofore: Vacuum Pumps and Air Compressors,” Pneumofore, [Online]. Available: <https://www.pneumofore.com>. [Hozzáférés dátuma: 06 10 2024].
- [11] „SPRSUN | Heat Pump Manufacturer & Supplier Since 1999,” Spursun, [Online]. Available: <https://sprsunheatpump.com>. [Hozzáférés dátuma: 06 10 2024].
- [12] I. Valasek, in *Ipari tribológia*, Budapest, Tribotechnik Kft., 2003, p. 150.

-
- [13] M. F. Fox, R. M. Mortier és S. T. Orszulik, *Chemistry and Technology of Lubricants*, New York: Springer Science+Business Media B.V, 2010.
- [14] *ISO 6743-3:2003: Lubricants, industrial oils and related products (class L) — Classification*, International Organization for Standardization, 2003.
- [15] I. Valasek, in *Ipartri tribológia*, Budapest, Tribotechnik Kft., 2003, p. 150.
- [16] Noria, „Polyalphaolefin (PAO) Lubricants Explained,” *Machinery Lubrication*, [Online]. Available: <https://www.machinerylubrication.com>. [Hozzáférés dátuma: 27 09 2024.].
- [17] „Atmospheric Solid Analysis Probe Coupled to Ion Mobility Spectrometry-Mass Spectrometry, a Fast and Simple Method for Polyalphaolefin Characterization,” *Springer Link*, 2018. [Online]. Available: <https://link.springer.com>. [Hozzáférés dátuma: 02 10 2024].
- [18] P. Bolisetty, A. K. Harinarain, S. Mondal, K. Rai, S. S. V. Ramakumar, D. Saxena és C. Tripathi, „Simulating Compressor Oil Oxidative Performance Using Laboratory Oxidation Test Methodology for Development of Long Life Compressor Oil,” *Indian Oil Corporation Limited*, 27 09 2022. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/>. [Hozzáférés dátuma: 15 10 2024].
- [19] *MOL-LUB Kft. Energiairányítási rendszer bevezetése*. [Performance]. 2018.
- [20] *Integrált vezetői nyilatkozat*, Almásfüzitő: MOL-LUB Kft., 2018.

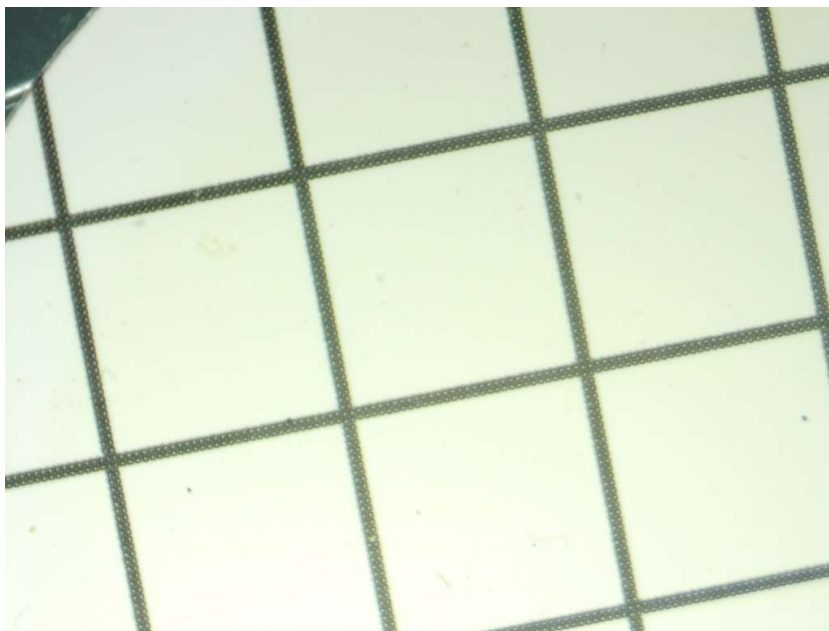
11.Ábrajegyzék

1. ábra: Levegőkompresszorok alkalmazási területeinek aránya iparáganként [1]	5
2. ábra: MOL-LUB Kft. gyártási portfólió [3].....	8
3. ábra: MOL-LUB Kft.-t bemutató számadatok [3]	8
4. ábra: A tribológia három alapjelensége [6].....	11
5. ábra: Turbókompresszor [8].....	13
6. ábra: Dugattyús kompresszor [9]	14
7. ábra: Csúszólapátos kompresszor [10].....	14
8. ábra: Csavarkompresszor [11]	15
9. ábra :Kompresszorolajok általános összetétele [13]	17
10. ábra: Polialfaolefinek előállítása [16].....	20
11. ábra: Felhasznált energiafajták megoszlása fogasztás szerint (GJ) [18].....	21
12. ábra: Felhasznált energiafajták megoszlása összköltség szerint (Ft) [18]	22
13. ábra: A globális kenőanyagpiac tendenciái 2022-2032 időintervallumban.....	23
14. ábra: Atlas Copco GA 55 csavarkompresszor	27
15. ábra: Az Atlas Copco GA 55 anyagárama.....	28
16. ábra: MOL Compressol R 46 kinematikai viszkozitás (40°C) és savszám változása a futott órák függvényében	30
17. ábra: MOL Compressol RS 46 PAO kinematikai viszkozitás (40°C) és savszám változása a futott órák függvényében.....	34
18. ábra: A referencia és a teszt kenőanyag kinematikai viszkozitásának változása.....	37
19. ábra: A referencia és a teszt kenőanyag savszámának változása.....	37

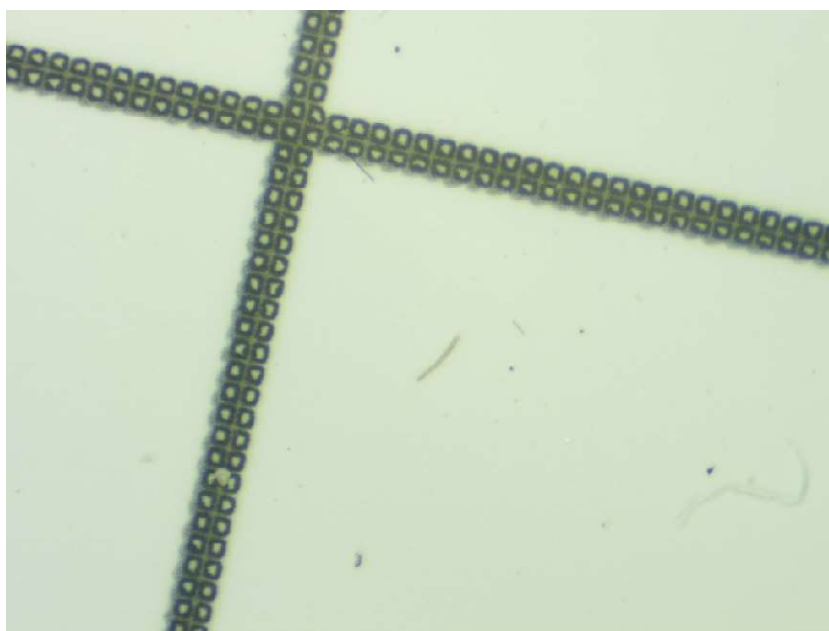
12.Mellékletek jegyzéke

1. Melléklet: A mechanikai szennyezettség vizsgálat mikroszkópos felvételei 30-szoros és 90-szeres nagyításban	47
--	----

1. Melléklet: A mechanikai szennyezettség vizsgálat mikroszkópos felvételei 30-szoros és 90-szeres nagyításban



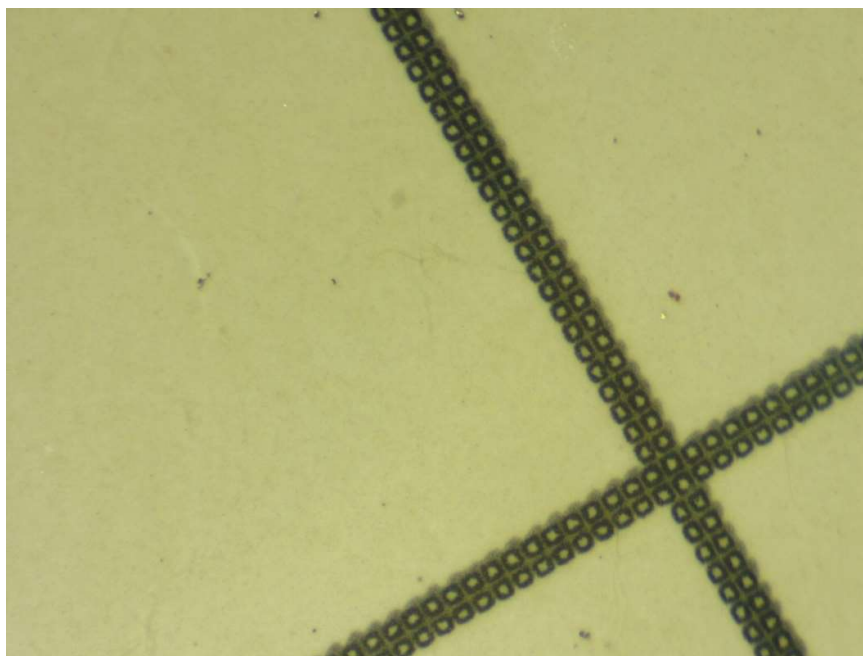
1. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 0 h , 30x



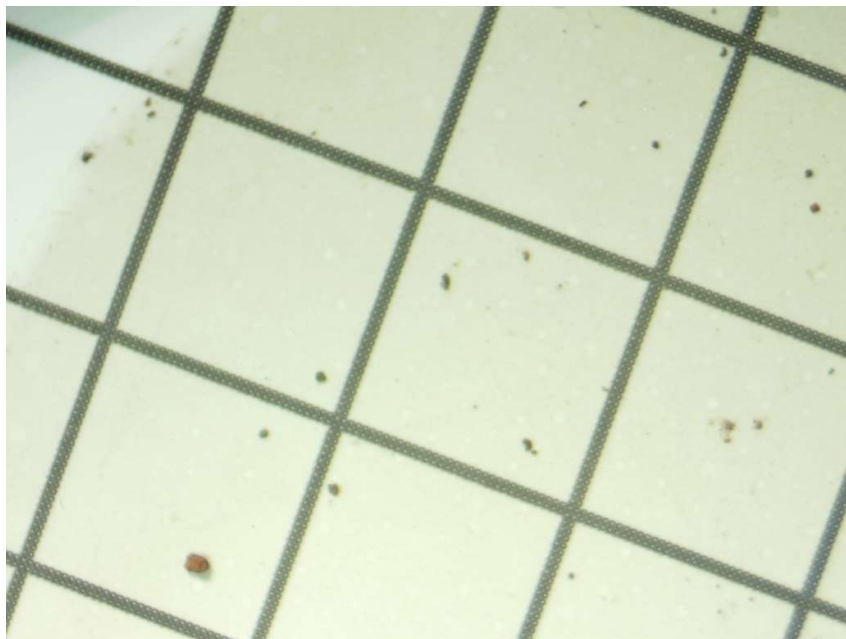
2. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 0 h , 90x



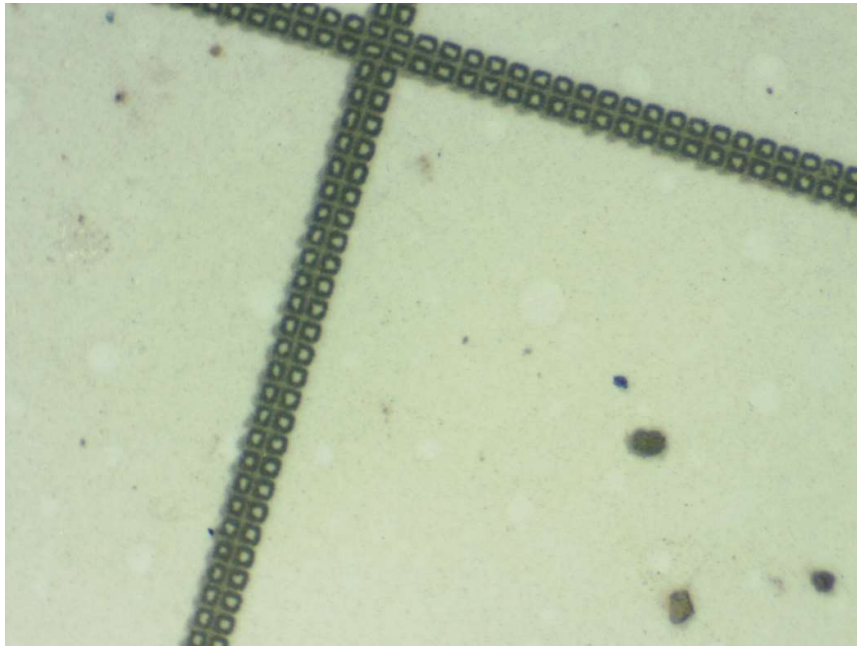
3. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 47 h , 30x



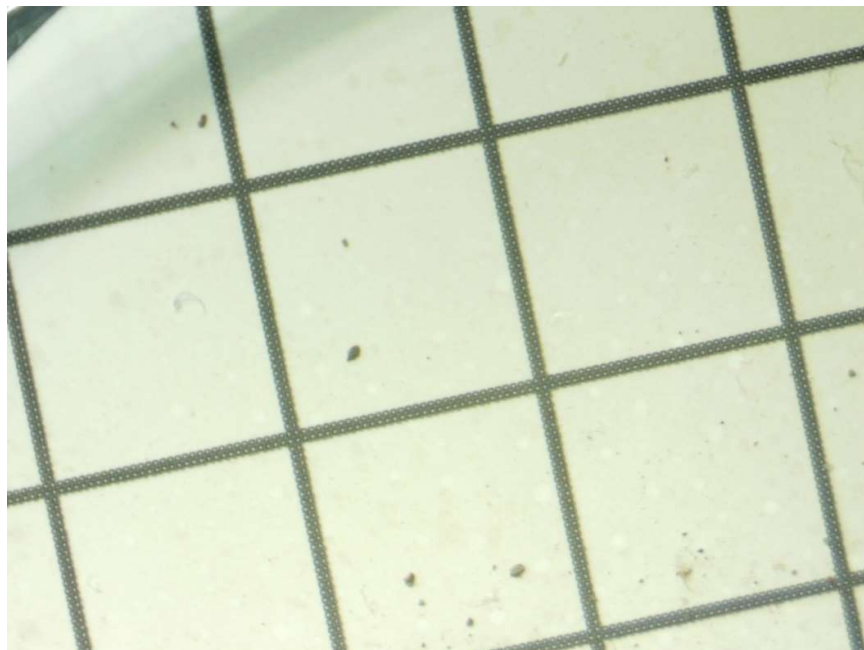
4. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 47 h , 90x



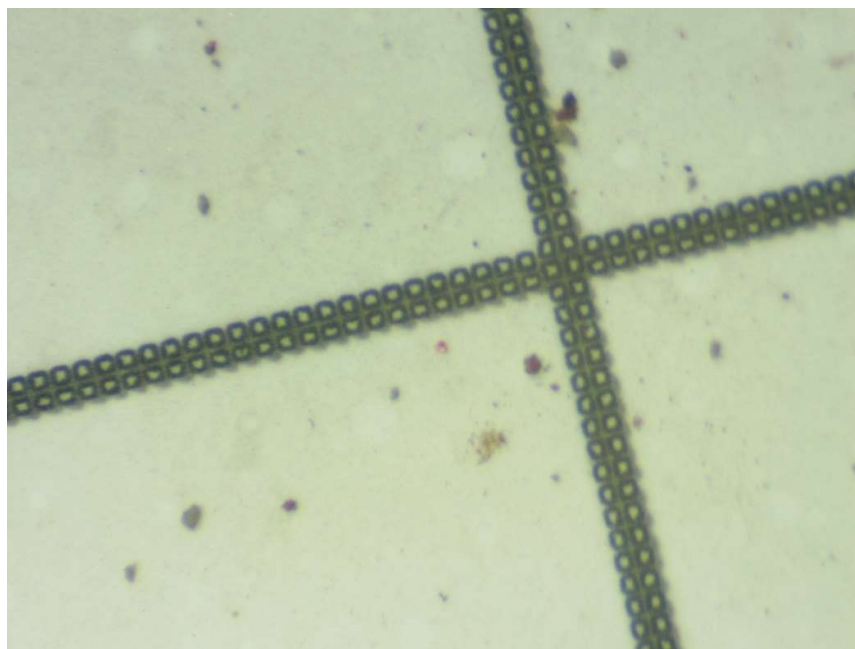
5. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 80 h , 30x



6. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 80 h , 90x



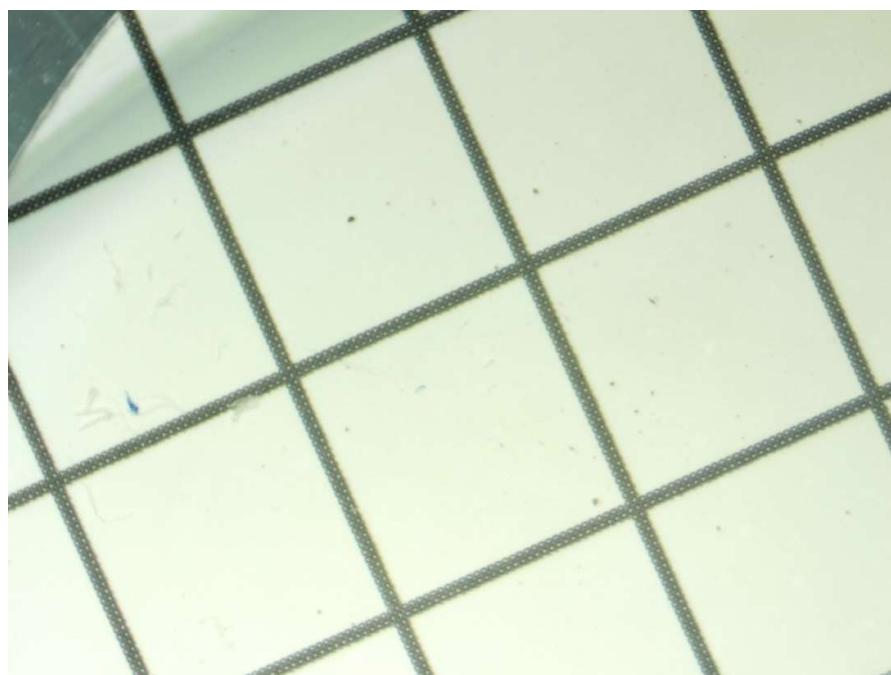
7. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 145 h , 30x



8. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 145 h , 90x



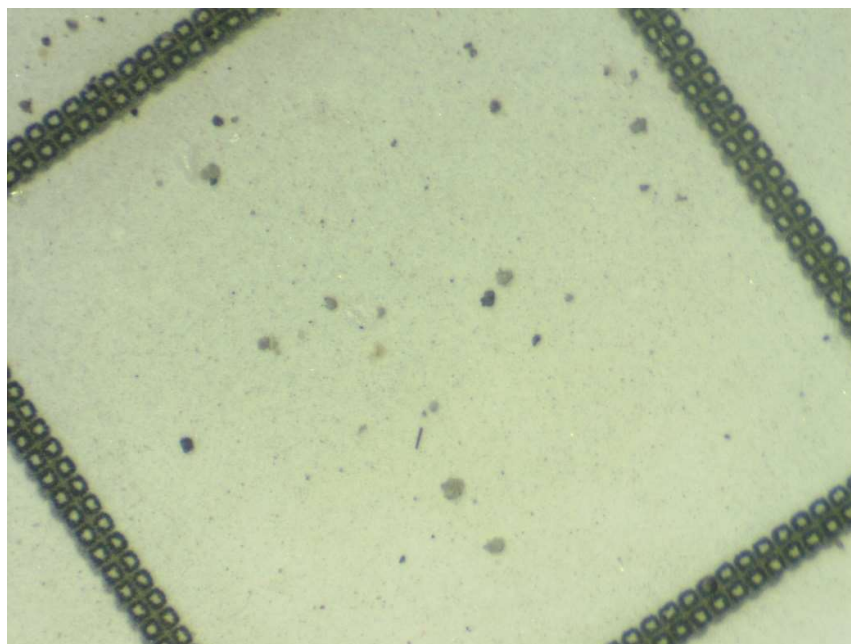
9. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 208 h , 30x



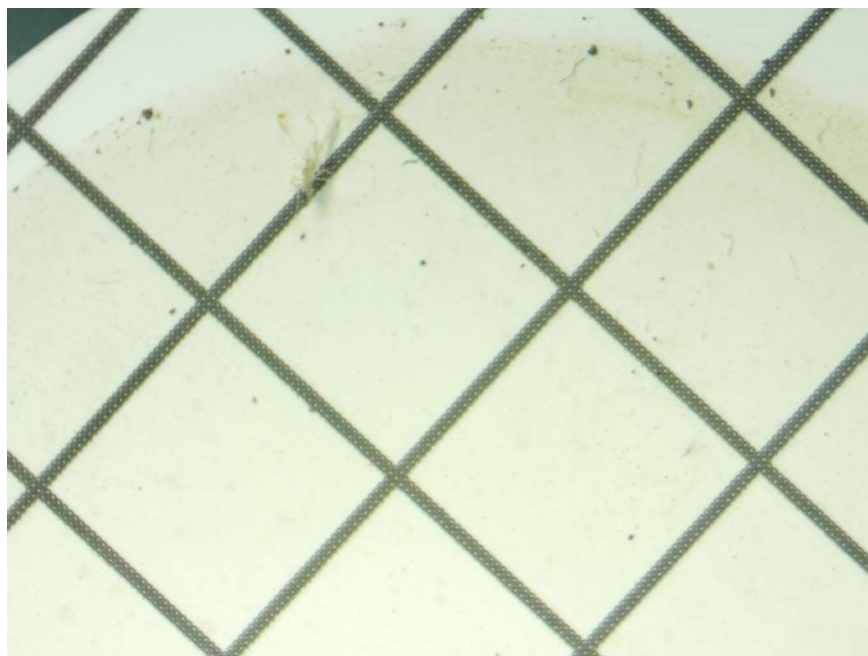
10. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 208 h , 90x



11. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 272 h , 30x



12. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 272 h , 90x



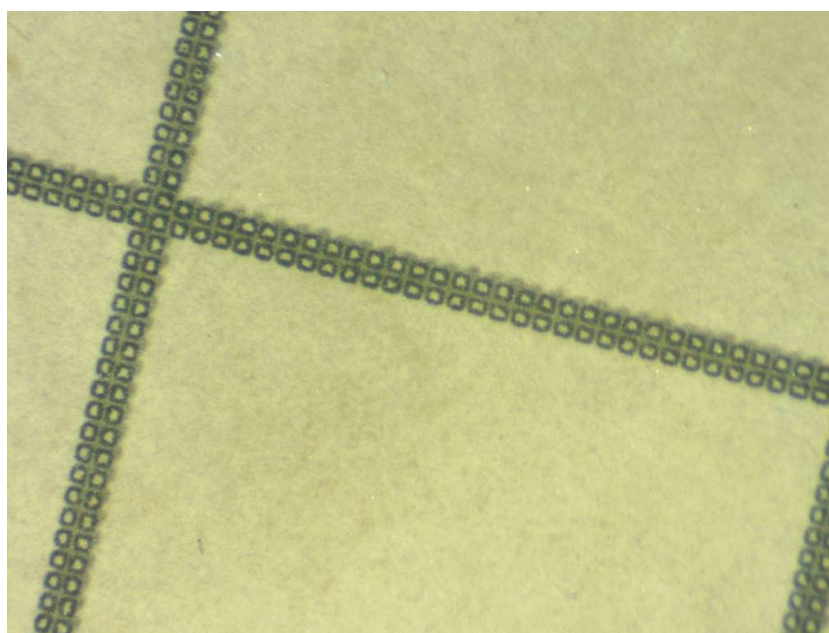
13. Felvétel: MOL Compressol RS 46 PAO, 306 h , 30x



14. Felvétel: OL Compressol RS 46 PAO, 306 h , 90x



15. Felvétel: MOL Compressol R 46, 805 h , 30x



16. Felvétel: MOL Compressol R 46, 805 h , 90x