

NANODALELĖMIS MODIFIKUOTOS ALYVOS TEPAMŪJŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

Rokas ŽLABYS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, *el. paštas:*
Rokas.zlabys@stud.vdu.lt

Santrauka

Automobiliuose ar kituose transporto priemonės mechanizmai viduje dyla. Alyva turi tepamųjų savybių ir neleidžia mechanizmui susidėvėti. Mokslininkai atrado, kad su nanodalelėmis galima dar labiau tarp detalių sumažinti dilimą ir trintį. Taigi, buvo atlikta alyvos modifikacija su nanodalelėmis ir tyrimas su DUCOM HFRR įrenginiu, siekiant patikrinti modifikuotos ir nemodifikuotos alyvos trinties koeficientą ir nudilimą. Tyrimo metu buvo gauti rezultatai, kurie parodo ir patvirtina, kad modifikuota alyva su nanodalelėmis turi mažesnę trinties koeficientą ir mažesnę nudilimą. Taigi, galima teigti, kad nanodalelės tikrai gali padėti sumažinti trintį tarp detalių.

Raktiniai žodžiai: alyva modifikuota nanodalelėmis, trinties koeficientas, dilimas

Įvadas

Šiandieninėje alyvų rinkoje 90 % sudaro angliavandenilių molekulės, o likusi dalis yra priedai, reguliuojantys jų savybes. Dešimtmečius organiniai fosforo ir sulfidų junginiai buvo dažniausiai naudojami kaip priemonės keičiant trintį ir didinant atsparumą dilimui (Dai ir kt. 2016). Pastaraisiais metais nanodalelės sulaukė didelio susidomėjimo dėl jų puikios apkrovos keliamosios galios, geros ekstremalių slėgio ir trinties mažinimo savybės. Zhou ir kt. (2000) įvertino Cu nanodalelių tribologinį elgesį aliejuje naudojant keturių rutulių mašiną. Rezultatai parodė, kad Cu nanodalelės, kaip aliejaus priedas, turėjo geresnes trinties mažinimo ir nusidėvėjimo savybes nei cinkdžiofosfatas, ypač esant didelėms apkrovoms. Išmetamųjų teršalų mažinimas ir degalų taupymas yra viena iš pagrindinių priežasčių, kodėl buvo pasirinktos nanodalelės. Jų dydis paprastai yra mažesnis nei 100 nm, todėl jos gali tiesiogiai kontaktuoti su alyva. Palyginus su organiniais priedais, nanodalelės laikomos termiškai stabiliomis aukštoje temperatūroje, todėl jos yra palankesnės nei kiti alyvos priedai (Udoh, 2021).

Mokslininkai visame pasaulyje atlieka tyrimus ir bandymus su nanodalelėmis, siekdami modifikuoti variklinę alyvą. Udoh, straipsnyje paminėta, kad nanodalelės pasižymi veiksmingumu, atsinaujinimo galimybe ir dilimo mažinimo požymiais (Udoh, 2021). Jie tiria nanodalelių suderinamumą, o jų rezultatai rodo, kad silicio oksido (SiO₂) nanodalelių paviršiaus savybės gali pakeisti hidrofilių į lipofilių, kuris yra palankus tribologiniam veikimui. Kai vario oksidas prisideda prie alyvos, mišinys slysta per du slankiuosius paviršius, dėl to sumažėja trintis ir nusidėvėjimas (Zhou, 2000). Taigi, kiekvienas tyrimas yra pagrįstas unikaliomis sąlygomis, tokiais kaip bazinė žaliava, priedų koncentracija, nanodalelių ir jų paviršiaus funkcionalumas, medžiagos ruošinio savybės, bandymo parametrai, tepimo režimai ir kt. tarp daugelio kitų. Nėra vienos standartinės sąlygos, kurią būtų galima panaudoti sąžiningam palyginimui. Dauguma pranešimų yra pagrįsti plieno ir plieno kontaktu (Dai ir kt., 2016).

Nanodalelės į alyvą gali būti įterpiamos dviem būdais: vieno žingsnio procesu, kuris susideda iš dalelių gamybos ir jų išsklaidymo skystyje vienu metu, ir dviejų žingsnių procesu. Pirmuoju atveju nanodalelės yra gaminamos ir išsklaidomos skystyje tuo pačiu metu, o antruoju atveju jos yra pradžioje gaminamos kaip sausi milteliai cheminiais arba fizikiniais metodais. Tada nanodalelių milteliai yra disperguojami į skystį antrajame etape, naudojant intensyvų magnetinės jėgos maišymą, ultragarsinį maišymą, didelį šlyties maišymą arba homogenizavimą (Yu, Xie, 2012).

Naudojant HFRR įrenginį, atliktas tyrimas, siekiant įvertinti, kuris mišinys pasižymi mažesne trintimi. HFRR yra aukšto dažnio stūmoklinis įrenginys, skirtas matuoti dyzelino arba šildymo alyvos tepimo savybes. Trinties mažėjimo vertė yra pateikta mikrometrais, o mažesnė vertė rodo mažesnę trintį. HFRR tepamųjų savybių tyrimo įrenginys plačiai naudojamas įvairių tepamųjų medžiagų tepimo tyrimams. Naudojant šį įrenginį, galima palyginti trinties ir dilimo mažinimo charakteristikas.

Tyrimo tikslas – ištirti, ar nanodalelėmis modifikuota variklinė alyva mažina trinties koeficientą.

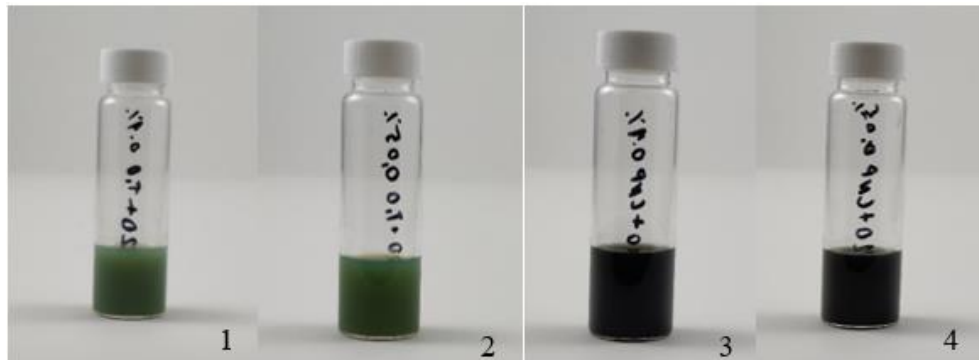
Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atlikti nanodalelėmis modifikuotos alyvos tepimo tyrimus.
2. Išanalizuoti ir aptarti gautus rezultatus.

Tyrimų objektas ir metodai

Alyvos modifikacija su nanodalelėmis vykdoma dviejų žingsnių metodu. Tyrime buvo naudojama Mobil1 0W-20 ACEA: C5 alyva. Alyvai modifikuoti buvo naudojamos nanodalelių koncentracijos: CuO – 0,1 ir 0,2 %, TiO₂ – 0,05 ir 0,1 % pagal masę. Koncentracijos buvo parinktos remiantis literatūroje publikuotais sėkmingais rezultatais (Singh, Dwivedi, Suhane, 2021).

Visų pirma buvo apskaičiuota, kiek nanodalelių bus dedama. Po kiekio santykio skaičiavimo buvo įdėtos nanodalelės ir viskas buvo sverama svarstyklėmis Sartorius Entris 224-1S. Mėginiai buvo dedami į ultragarso vonią ir maišomi 20 min. 80 °C temperatūroje. Ultragarso vonelė buvo naudojama susmulkinti nanodalelių agregatus, kad nebūtų abrazyvinio dilimo. Gautų tepimo mišinių vaizdai pavaizduoti 1 paveiksle.

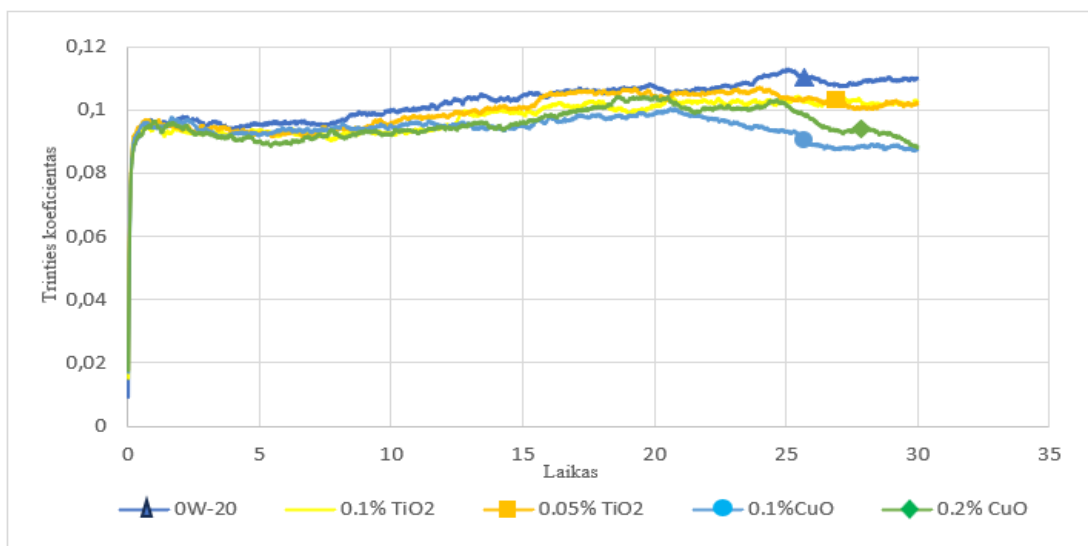


1 pav. Mišinių nuotraukos: 1) TiO₂ 0.1 %; 2) TiO₂ 0.05 %; 3) CuO 0.1 %; 4) CuO 0.2 %
1 fig. Photos of mixtures: 1) TiO₂ 0.1%; 2) TiO₂ 0.05%; 3) CuO 0.1%; 4) CuO 0.2%

Tepimo tyrimai atlikti naudojant DUCOM HFRR. Bandymai buvo atlikti panardinant plieninį rutulį ir plokščią plieninį diską į alyvos mėginį sąlyčio taške. Aplinkoje, kuri buvo kontroliuojama, temperatūra buvo nustatyta, o rutulys buvo apkrautas ir judėjo pirmyn ir atgal nustatytu dažniu 30 min. Tyrimo parametrai apėmė apkrovą – 4N, temperatūrą 80 °C, rutulio judėjimo amplitudę – 1mm, rutulio judėjimo dažnius – 10 Hz ir 50 Hz. Naudojama 1 ml mišinio. Kiekvienas tepimo tyrimas buvo kartojamas 2 kartus. Po 30 min. nusidėvėjimo žymė buvo išanalizuota ir išmatuota lygiagrečiai ir statmenai slydimo kryptims, fiksuojant vidutinį nudilimo skersmenį. Rezultatai buvo matuojami mikronais (µm). Nudilusių paviršių analizei buvo naudojamas optinis mikroskopas Nikon ECLIPSE MA 100.

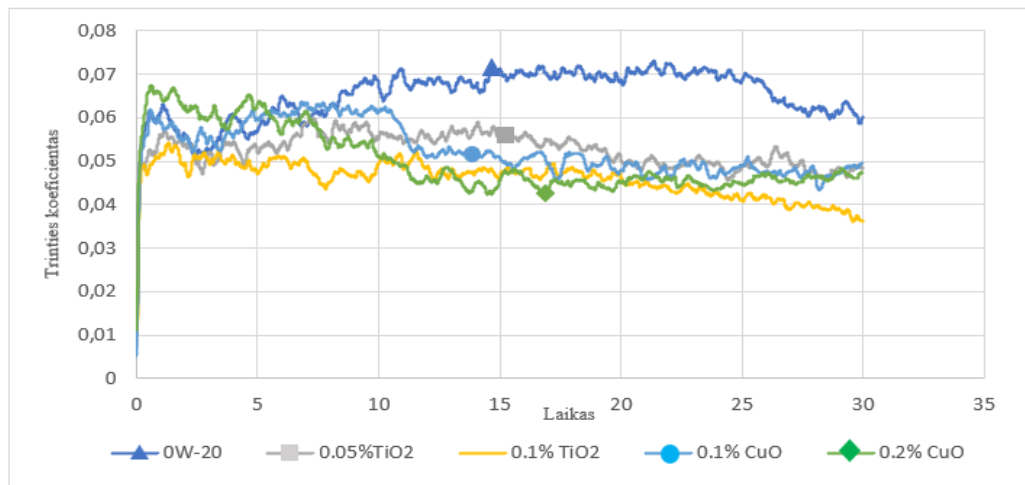
Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Atlikus tyrimus ir apdorojus gautus duomenis, grafikuose pateikiami rezultatai, iš kurių matomas skirtingų modifikuotų alyvų gebėjimas mažinti trintį. HFRR parametrai bandymo metu buvo visiškai identiški, išskyrus judėjimo dažnį, kuris buvo nustatytas 10 Hz ir 50 Hz. Prasidėjus bandymui su 10 Hz, trinties koeficientas siekia 0,095 apytiksliai po 3 min. Visi mėginiai pasižymi tokiu pačiu trinties koeficientu. Bandymu pasiekus 10 min. tašką, mišinių trinties koeficientai keičiasi ir pastebima, kad nemonifikuota alyva turi didžiausią trinties koeficientą 0,1, tačiau modifikuotų alyvų mėginiai nekeičia savo trinties koeficientų, išlieka 0,095. Po 10 min. matyti mėginių dispersija ir jau galima spręsti, kuris mišinys pasižymės mažiausia trintimi. Pasibaigus bandymui, rezultatai buvo aiškūs: 10 Hz tyrime modifikuota alyva (CuO 0,1 %) sumažino trinties koeficientą 0,023 % (žr. 2 pav.).



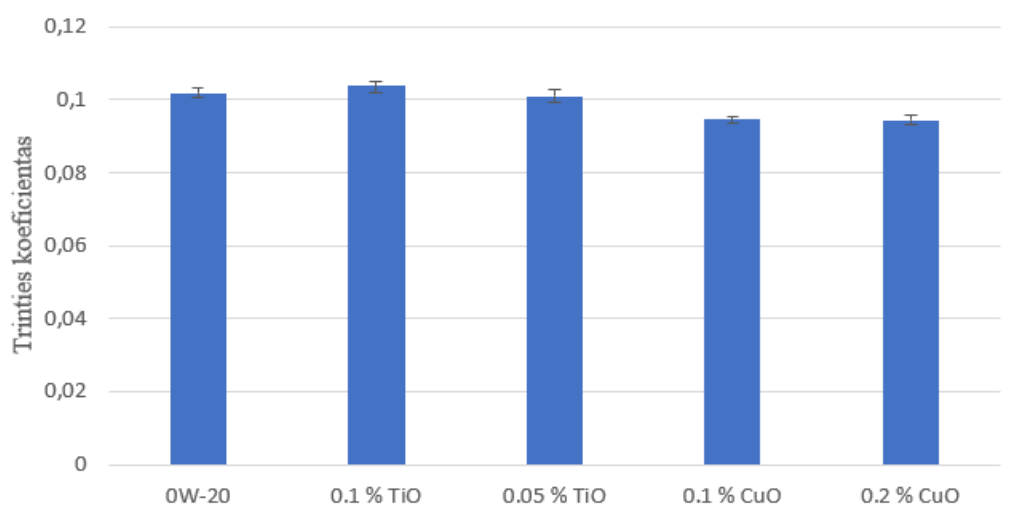
2 pav. Mišinių rezultatų trinties koeficientų kitimas esant 10 Hz
2 fig. Variation of friction coefficients of mixture results at 10 Hz

Palyginus HFRR įrenginį su tikru automobilio varikliu, 10 Hz dažnis įrenginyje atitinka tikro variklio darbo apsakas, būnant ~ 600 aps/min., tai yra arti laisvosios eigos veikiančio variklio. Tuo tarpu 50 Hz dažnis įrenginyje atitinka tikro variklio darbo apsakas, esant ~ 3000 aps/min., tai jau pilnai veikiantis variklis, kurio mechanizmai dirba ir sąveikauja vienas su kitu.



3 pav. Mišinių rezultatų trinties koeficientų kitimas esant 50 Hz
3 fig. Variation of friction coefficients of mixture results at 10 Hz

Padidinus bandymo metu naudojamų mišinių dažnį iki 50 Hz, likusius parametrus paliekant nepakitusius, pastebimas esminis pradinio taško trinties koeficiento skirtumas, lyginant su 10 Hz. Bandymo pradžioje modifikuotos alyvos trinties koeficientas yra 19 % mažesnis nei nemonifikuotos alyvos. Pasiekus 10 min. tašką, pastebimas trinties koeficiento padidėjimas 0,01 nemonifikuotai alyvai, tuo tarpu modifikuotos alyvos trintis vis mažėja. Po 15 min. matomas 0W–20 nemonifikuotos alyvos trinties padidėjimas iki 0,06, taip, kaip ir pradžioje. Pasibaigus bandymui, rezultatai buvo aiškūs: 50 Hz tyrime modifikuota alyva (TiO₂ 0,1 %) sumažino trinties koeficientą 36 % (žr. 3 pav.).

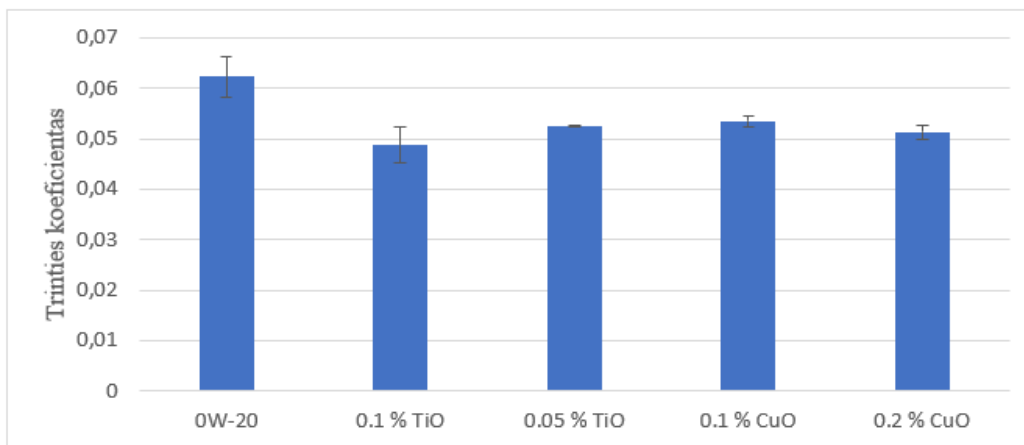


4 Pav. Rezultatų vidurkių palyginimas esant 10 Hz
4 fig. Comparison of average results at 10 Hz

Išvedus viso tyrimo trinties koeficientų reikšmių vidurkį gaunamas vidutinis trinties koeficientas, pateikiamas kaip tų mišinių trinties mažinimo charakteristika (žr. 4 ir 5 pav.). Pagal išvestus vidurkius modifikuota alyva 10 Hz dažniu turi 7 % mažėjimą nuo nemonifikuotos alyvos, 50 Hz turi 21 % mažėjimą trinčiai.

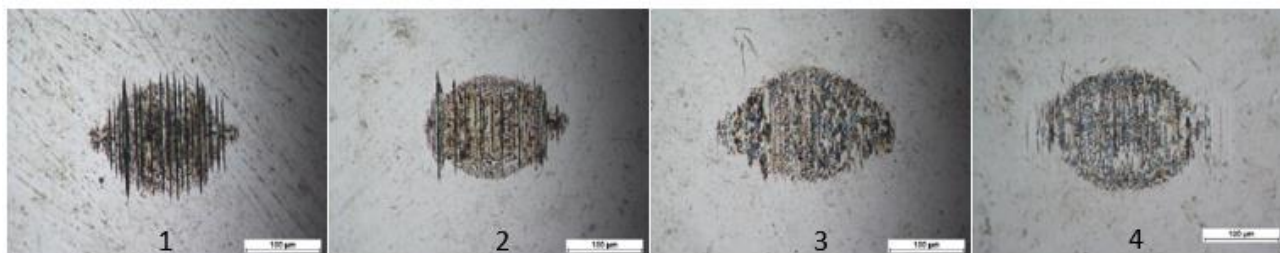
Laad ir Kumar atliko tyrimą su titano oksido nanodalelėmis, kurių koncentracijos buvo 0,3 % ir 0,4 %. Tyrime buvo pasirinkta Servo 4T Synth 10 W-30. Šiame tyrime buvo naudota skirtinga alyva ir skirtinga koncentracija, tačiau rezultatai buvo panašūs. Tyrime buvo naudotas diskas-pirštas bandymo metodas, kuriame buvo naudojama daugiau alyvos. Trinties koeficiento kitimas tam tikrą laiką nuo 0 iki 300 s buvo pastebėta, kad apkrova yra didesnė nei 4 kg, palyginus su 5 kg arba 6 kg apkrova. Matyti, kad trinties koeficientas yra reikšmingai sumažintas naudojant 3 % masės TiO₂ nanodaleles, kaip priedus tepimo alyva nurodytai apkrovai. Koeficiento sumažėjimas buvo apkrova 86,48 %, 78,04 % ir 34,50 %, atitinkamai 4 kg, 5

kg ir 6 kg. Koeficiento sumažėjimas buvo maksimali mažiausia apkrova (4 kg) ir minimali didžiausia apkrova (6 kg). Pastebėta, kad su 0,4 % masės TiO₂ priedo tepalinėje alyvoje COF sumažėja. 52 % ir 23 % COF sumažėjo, atitinkamai 4 kg ir 6 kg apkrovoms, kai 0,4 % masės TiO₂ buvo disperguota tepalinėje alyvoje (Laad, Jatti, 2018). Daugelyje mokslinių straipsnių yra rašoma, kad efektyviausia modifikuota alyva yra su TiO₂ nanodalelėmis.



5 pav. Rezultatų vidurkių palyginimas esant 50 Hz
5 fig. Comparison of average results at 50 Hz

Pagal dilimo pėdsakų ant rutulio ir plokštumos vaizdus, gautus optiniu mikroskopu, analizuojami nudilimo pėdsakai (žr. 6 pav.). 10 Hz nemonifikuota alyva turi labai daug rėžių, nėra glotni, tuo tarpu modifikuota alyva turi mažiau rėžių ir yra glotnesnė. Ties 50 Hz nemonifikuota alyva, palyginus su 10 Hz, yra glotnesnė ir turi mažiau rėžių, tačiau modifikuota alyva turi 2 kartus mažesnę nudilimą.



6 Pav. Nudilusių pėdsakų vaizdai rutuliukuose: 1) 0W-20 10Hz; 2) CuO 0.1% 10Hz; 3) 0W-20 50Hz; 4) TiO₂ 0.1% 50Hz
6 fig. Images of worn marks in balls: 1) 0W-20 10 Hz; 2) CuO 0.1% 10Hz; 3) 0W-20 50Hz; 4) TiO₂ 0.1% 50Hz

Pagal pėdsakus (žr. 7 pav.) galima matyti, kad rutuliukuose nudilimas yra toks pat, kaip ir ant plokštelės ir ties 50 Hz galima matyti plokštelės nudilimo pastorėjimą. Tačiau rezultatas nesiskiria ir matomas vientisas, mažesnis dėvėjimasis su modifikuota alyva.



7 Pav. Nudilusių pėdsakų vaizdai plokštelėse: 1) 0W-20 10Hz; 2) CuO 0.1% 10Hz; 3) 0W-20 50Hz; 4) TiO₂ 0.1 % 50Hz
7 fig. Images of worn marks on plates: 1) 0W-20 10Hz; 2) CuO 0.1% 10Hz; 3) 0W-20 50Hz; 4) TiO₂ 0.1% 50Hz

Išvados

1. Atlikus alyvos modifikaciją galima teigti, kad modifikuotos alyvos prie 10 Hz trinties koeficientas yra 7 % mažesnis nei nemonifikuotos alyvos, esant 50 Hz modifikuotos alyvos trinties koeficientas mažesnis 21 % nei nemonifikuotos alyvos. Matyti, kad prie skirtingų dažnių trinties koeficientas skiriasi, kaip ir skiriasi modifikuota alyva, kuri turi mažesnę trinties koeficientą ties tuo dažniu. Taigi, galima sakyti, kad modifikuota alyva su nanodalelėmis turi tikrai mažesnę trintį negu standartinė nemonifikuota alyva.

2. Išanalizavus rezultatus galima teigti, kad modifikuojant alyvą su nanodalelėmis yra teigiamas poveikis nudilimui. Modifikuota alyva turi mažesnę nudilimą ir pastebima, kad prie 50 Hz dažnio, kuris variklyje atstoja 3000 RPM, visi mišiniai turi mažesnę nudilimą negu nemodifikuota alyva. Šiame tyrime mažiausią nudilimą turinti modifikuota alyva yra su TiO₂ nanodalelėmis, kuri sumažino nudilimą 2 kartus nuo nemodifikuotos alyvos.

Literatūra

1. Azman, N. F., Samion, S. 2019. Dispersion stability and lubrication mechanism of nanolubricants: a review. *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, Vol. 6, p. 393–414.
2. Dai, W., Kheireddin, B., Gao, H., Liang, H. 2016. Roles of nanoparticles in oil lubrication. *Tribology international*, Vol. 102, p. 88–98.
3. Yu, W., Xie, H. 2012. A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of nanomaterials*. Vol. 2012, p. 1–17.
4. Laad, M., Jatti, V. K. S. 2018. Titanium oxide nanoparticles as additives in engine oil. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, Vol. 30(2), p. 116–122.
5. Singh, A. P., Dwivedi, R. K., Suhane, A. 2021. Influence of nano particles on the performance parameters of lube oil—a review. *Materials Research Express*, Vol. 8(10), p. 102001.
6. Udoh, T. H. 2021. Improved insight on the application of nanoparticles in enhanced oil recovery process. *Scientific African*, Vol. 13, e00873.
7. Zhou, J., Wu, Z., Zhang, Z., Liu, W., Xue, Q. 2000. Tribological behavior and lubricating mechanism of Cu nanoparticles in oil. *Tribology letters*, Vol. 8, p. 213–218.
8. Xu, Z., Shen, X., Allam, T., Song, W., Bleck, W. 2022. Austenite reversion and nano-precipitation during a compact two-step heat treatment of medium-Mn steel containing Cu and Ni. *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 17, p. 2601–2613.

INVESTIGATION OF THE LUBRICATING PROPERTIES OF NANO PARTICLE-MODIFIED OIL

Summary

In cars or other vehicles, the inside wears out, oil which has lubricating properties can stop mechanism wear off. Scientists have discovered that friction between parts can be reduced even less with nanoparticles. Thus, oil modification with nanoparticles was carried out and a study was carried out with DUCOM HFRR unit to check the friction coefficient and wear of modified and unmodified oil. During the study, results were obtained that show and confirm that the modified oil with nanoparticles has less friction and less wear. So it can be said that nanoparticles can really help to reduce friction between parts.

Keywords: oil modified with nanoparticles, coefficient of friction, wear