

Lucija Čoga^a, Marko Polajnar^a, Mitjan Kalin^{a,*}

^a Laboratorij za tribologijo in površinsko nanotehnologijo, Fakulteta za strojništvo, Univerza Ljubljana, Aškerčeva 6, Ljubljana, Slovenija

Uvod

Zaradi vse strožjih zakonodajnih omejitev glede uporabe številnih visoko zmogljivih materialov in maziv sta tako industrija kot znanost prisiljeni v stalen razvoj novih trajnostnih in bolj zelenih rešitev. Pri štancanju je to zelo pomembno, saj je izpostavljeno visoki globalni konkurenčnosti in vedno večjim zahtevam po tehnoloških izboljšavah za večjo produktivnost, energetsko in stroškovno učinkovitost ter kakovost izdelkov. Da bi izpolnili te zahteve, je treba tribologijo štancanja, vključno s kontaktnimi materiali, nenehno prilagajati in evalvirati. V avtomobilskem sektorju so jeklene pločevine pogosto prevlečene z različnimi izolacijskimi premazi, da bi dosegli izboljšane lastnosti materialov, kot so zmanjšana izguba moči, izboljšane lastnosti štancanja in odpornost proti koroziji [1,2]. V praksi se tovrstne pločevine navadno štancajo v suhem. Čeprav kombinacija organskega premaza in suhih pogojev predstavlja najbolj trajnostno in zeleno rešitev, je potrebno oceniti, koliko uporaba maziv v primerjavi s suhimi pogoji prispeva k znižanju trenja in obrabe orodja za štancanje in s tem k znižanju porabe energije.

Ekperimentalni del

Materiali

V tej raziskavi smo ovrednotili tribološke lastnosti dveh različnih premazov: (I) premaz na osnovi epoksi smole ter (ER) (II) anorgansko/organsko hibridni premaz (HR) na pločevinah iz električnega jekla v suhih in mazanih pogojih. Uporabili smo bazna maziva brez aditivov, in sicer demineralizirano vodo in štiri olja z različno viskoznostjo ter kemijsko strukturo. Da bi posnemali operacijo izrezovanja in prebijanja pri štancanju, smo ovrednotili koeficient trenja na mejnih površinah (i) premaz/WC-Co (orodje) in (ii) pločevina/WC-Co (orodje). Da bi pojasnili vpliv mazanja na tribološko delovanje preiskovanih kontaktov, smo preučevali interakcije med mazivi in premazi z meritvami omočljivosti, FTIR in nanoindentacijo.

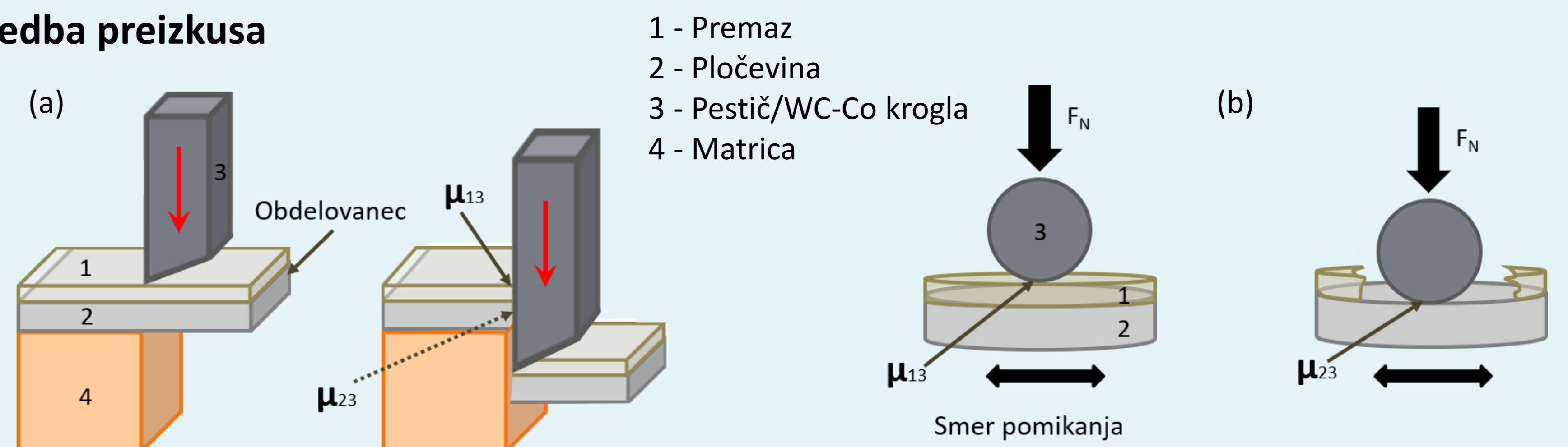
Preglednica 1: Fizikalne lastnosti uporabljenih maziv.

Maziva	Viskoznost pri 40 °C, mm ² /s	Gostota pri 15 °C, g/cm ³
Voda	0,7	0,999
Parafinsko LV olje	2,0	0,791
Naftensko LV olje	2,9	0,860
Parafinsko HV olje	21,9	0,860
Naftensko HV olje	22,0	0,900

LV – olje nizke viskoznosti; HV – olje visoke viskoznosti

Izvedba preizkusa

Kontaktno konfiguracijo pločevina/WC-Co smo testirali v suhih in mazanih pogojih na recipročnem drsnem tribološkem preizkuševališču (Bruker, Massachusetts, ZDA) pri maks. Hertzovem kontaktnem tlaku 3,3 GPa (normalna obremenitev 185 N) ter drsni hitrosti 0,05 m/s. Dolžina pomika enega cikla je bila 10 mm, skupaj je bilo za vsak test opravljenih 10000 ciklov. Določili smo ustaljeni koeficient trenja med WC-Co kroglo in premazom (ER ali HR) (μ_{13}) ter ustaljeni koeficient trenja med WC-Co kroglo in jekleno pločevino po odstranitvi premaza (μ_{23}). Po koncu testa smo obrabne sledi na pločevini analizirali z optičnim interferometrom za določitev koeficienta obrabe. Velikost kontaktne površine ter količino Fe-prenosnega filma na kroglici pa smo določili z elektronskim mikroskopom (EDS analiza).

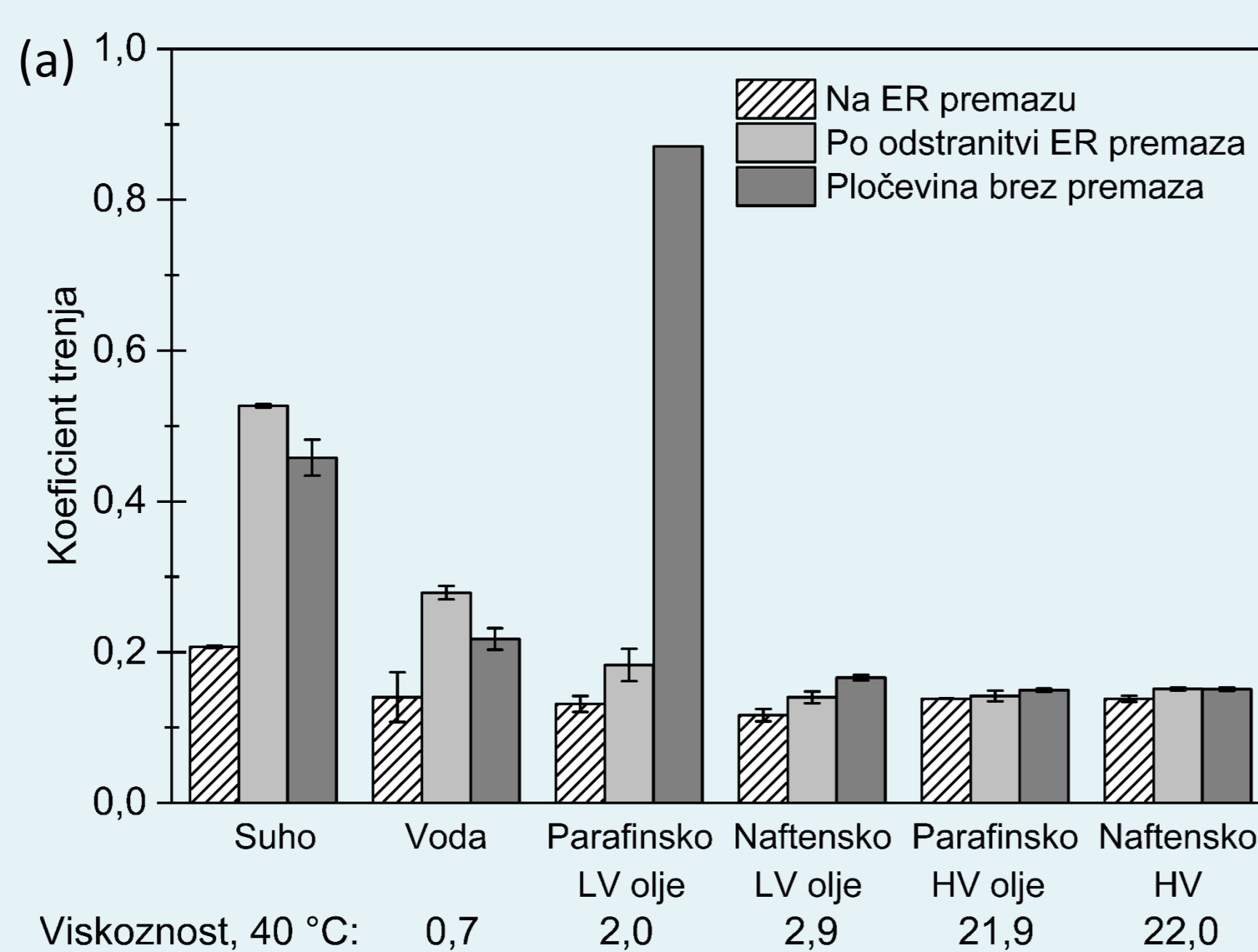


Slika A: Koeficient trenja med orodjem in premazom ter orodjem in pločevino v (a) aplikaciji ter (b) modelnem tribološkem preizkuševališču.

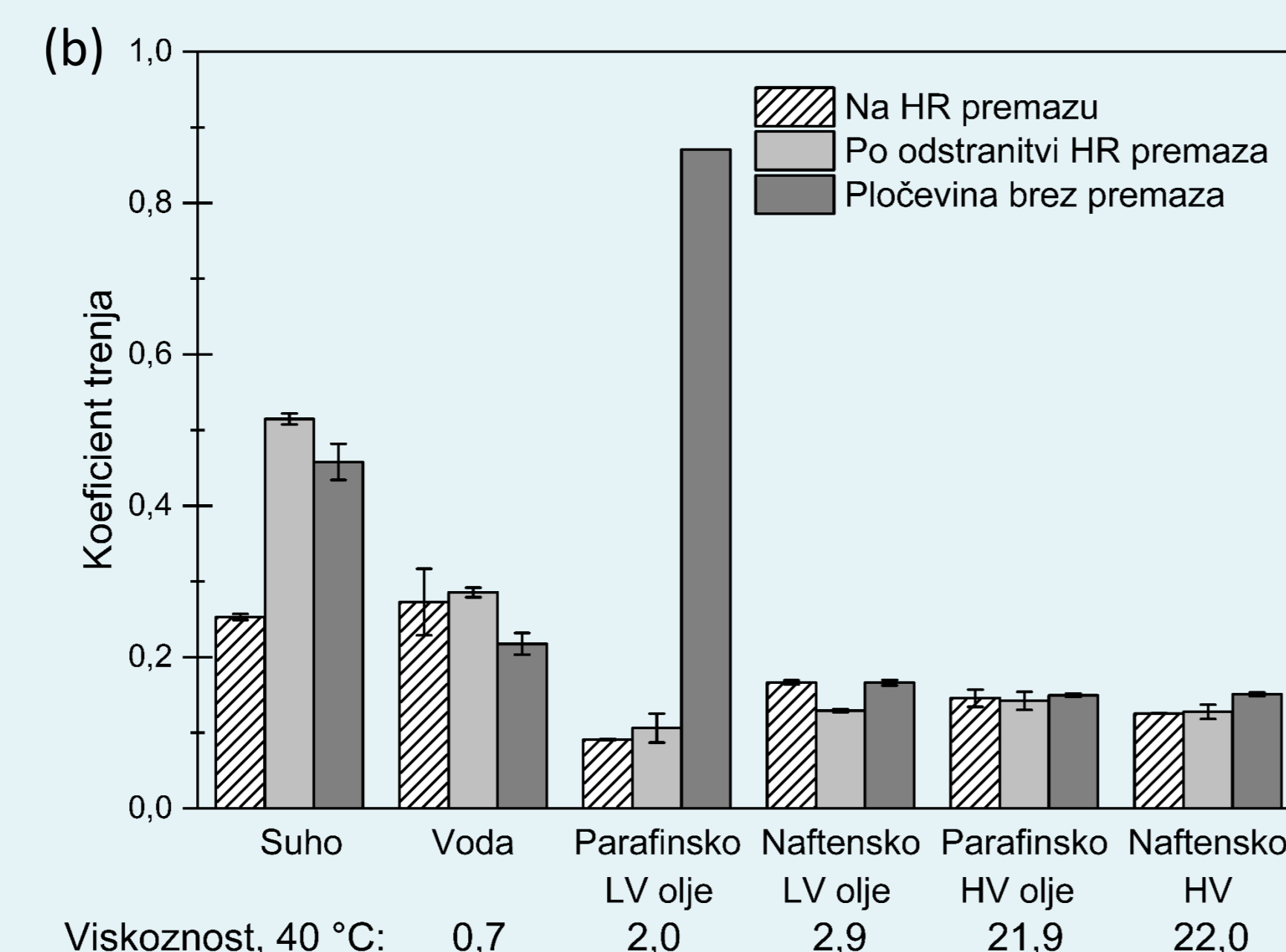
Rezultati

Rezultati 1: Koeficient trenja

Na ER-premazu opazimo najvišji koeficient trenja za suhi kontakt, in sicer okoli 0,21. Vsa maziva znižajo koef. trenja, vendar so razlike med mazivi majhne (od 0,12 do 0,14). Po odstranitvi premaza (na pločevini) se COF poveča, vendar so razlike med mazanimi in suhim kontaktom še večje. Prav tako je razlika v COF med posameznimi mazivi precej višja (koeficient trenja pada s povečevanjem viskoznosti maziva).



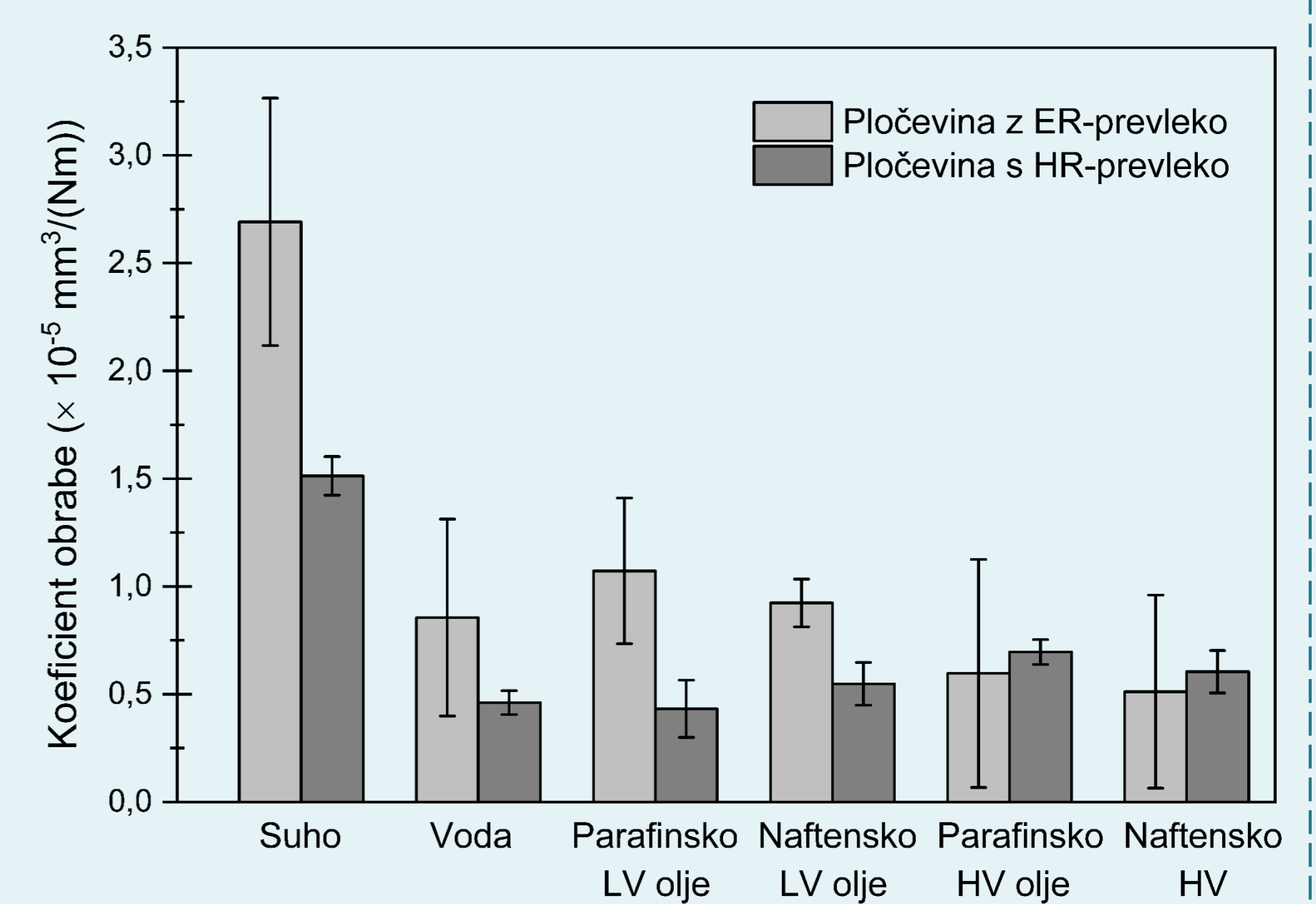
Na HR-premazu je najvišji koeficient trenja opažen za suhe (0,25) in z vodo mazane kontakte (0,27), sledijo pa kontakti mazani z naftenskim HV (0,13), parafinskim HV (0,15), naftenskim LV (0,17) in nazadnje parafinskim LV oljem (0,09). Koeficient trenja na jekleni pločevini (po odstranitvi HR prevleke) je višji in tudi razlike med suhim in mazanim kontaktom so večje kot na premazu.



Slika B: Ustaljeni koeficient trenja na premazu (μ_{13}) in na pločevini (μ_{23}), po odstranitvi premaza za (a) ER- in (b) HR-pločevino.

Rezultati 2: Koeficient obrabe

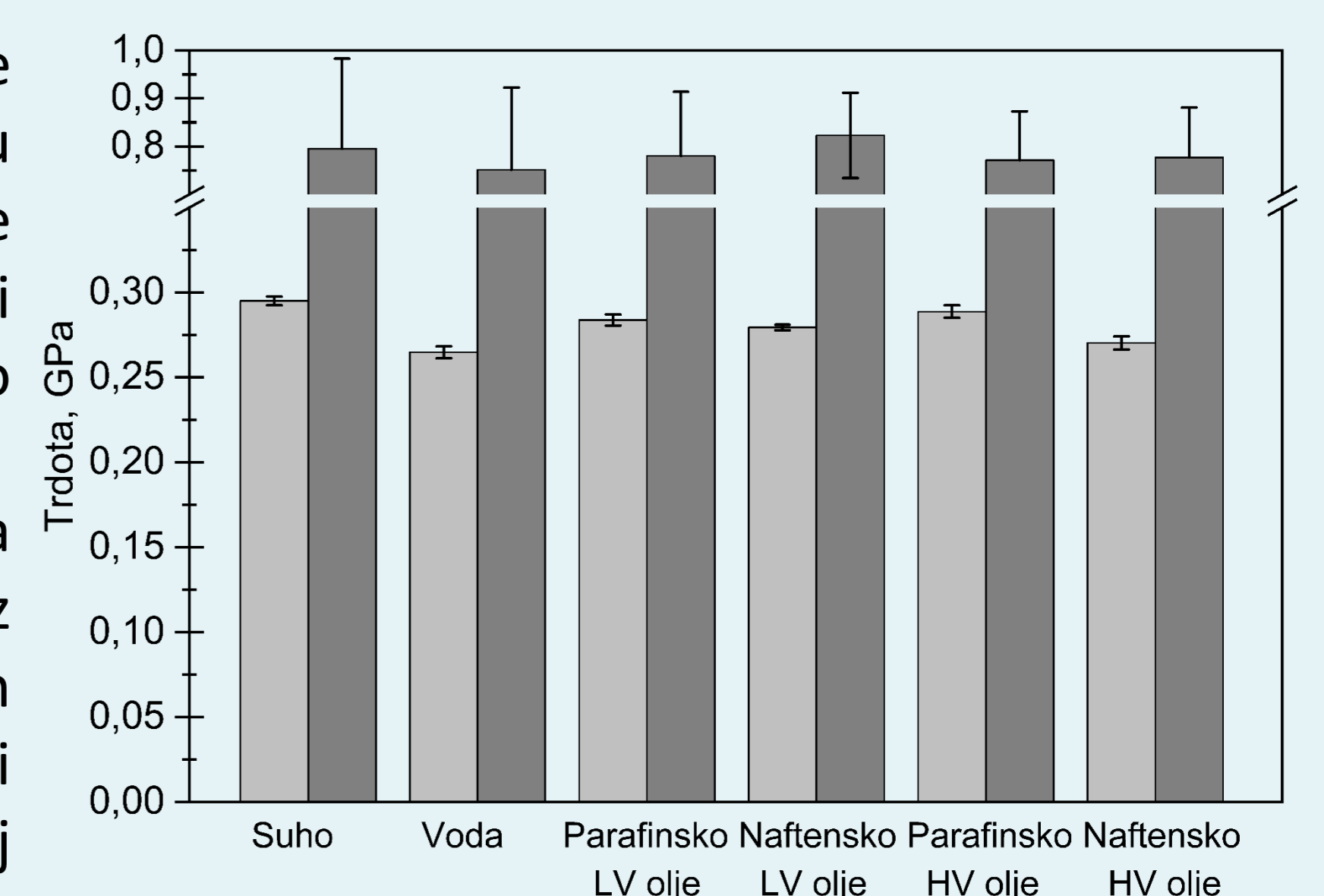
Pri ER-pločevini mazani kontakti zagotavljajo nižji koeficient obrabe (v območju od $0,51 \cdot 10^{-5}$ do $1,07 \cdot 10^{-5}$ mm³/Nm) kot suh kontakt ($2,69 \cdot 10^{-5}$ mm³/Nm), vendar so razlike med mazivi znotraj merilne napake. Globina sledi obrabe je za vse kontakte višja od 20 μ m, kar kaže, da je bila ER-prevleka med testom odstranjena z jeklene pločevine. Podobno je pri HR-pločevini, le da je tu globina obrabne sledi manjša (14 μ m), kar pa nakazuje, da je bila HR-prevleka tudi odstranjena s pločevine.



Slika C: Koeficient obrabe za ER- in HR-pločevino.

Rezultati 3: Trdota na nano-skali

Trdota neobdelanega ER-premaza je 0,295 GPa in se zniža v primeru obdelave z mazivi. Znižanje je največje pri vodi (0,265 GPa), sledita pa ji parafinsko LV (0,279 GPa) in naftensko LV olje (0,284 GPa). Trdota neobdelanega HR-premaza znaša 0,795 GPa. Pri obdelavi premaza z mazivi pa se trdota giblje med 0,751 in 0,823 GPa. Vendar so te razlike v trdoti statistično nepomembne, saj so znotraj merilne napake.



Slika D: Trdota za ER- in HR-pločevino v prisotnosti maziv.

Zaključki

- Oba premaza prispevata k znižanju koeficienta trenja v primerjavi s pločevino brez premaza. Premaz ugodno vpliva tudi na koeficient trenja po odstranitvi premaza.
- Maziva v večini primerov znižajo koeficient trenja; razlike med mazivi so večje na pločevini (po odstranitvi premaza).
- Vsa maziva znižajo koeficient obrabe.

Literatura

- [1] M. Lindenmo et al., Journal of Magnetism and Magnetic Materials 215-216 (2000) 79-82.
- [2] A. Coombs et al., IEEE Transactions on Magnetics 37 (2001) 544-557.
- [3] A. Kraemer et al., 5th International Electric Drives Production Conference (EDPC), 2015, pp. 1-7.
- [4] A. Matuszak, Journal of Materials Processing Technology 106 (2000) 107-111.