

Michał KRAWIEC*, Władysław CZUPRYK*

**WPLYW STĘŻENIA NAPEŁNIACZA W SMARZE
PLASTYCZNYM NA EFEKTYWNOŚĆ
SMAROWANIA STALOWYCH WĘZŁÓW
ŚLIZGOWYCH PRACUJĄCYCH PRZY TARCII
MIESZANYM**

**THE EFFECT OF FILLER CONCENTRATION IN GREASE
ON THE EFFICIENCY OF THE LUBRICATION OF STEEL
SLIDING PAIRS WORKING IN MIXED LUBRICATION**

Słowa kluczowe:

tlenki, napelniacze, efektywność smarowania

Key words:

oxides, fillers, lubrication efficiency

Streszczenie

W publikacji przedstawiono wyniki badań rozpoznawczych nad wpływem różnych napelniczy (Bi_2O_3 , Sb_2O_3 , CuO , ZnO , TiO_2) w wapniowym smarze plastycznym (Maszynowy 2) na efektywność smarowania stalowych skojarzeń ślizgowych. Badania tribologiczne przeprowadzono na aparacie czterokulo-

* Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, Wydział Inżynierjno-Ekonomiczny, Katedra Aparatury i Inżynierii Procesowej, ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław, tel. 71 388-02-90, 71 368-02-91, e-mail: michal.krawiec@ue.wroc.pl, wladyslaw.cupryk@ue.wroc.pl.

wym. Analizie poddano kompozycje smarowe mające 4 i 10% wagowo każdego z przyjętych napełniaczy. Dla celów porównawczych wyznaczono charakterystyki tribologiczne Smaru Maszynowego 2 bez napełniacza. Efektywność analizowanych smarów oceniono według dwóch wielkości kryterialnych, tj.: granicznego obciążenia zatarcia F_{0z} oraz granicznego nacisku zatarcia p_{0z} . Wyniki eksperymentu opracowano statystycznie na poziomie ufności 95%, stosując test t-Studenta. Stwierdzono, że dwutlenek tytanu, tlenek cynku i trójtlenek bizmutu są mało efektywnymi napełniaczami Smaru Maszynowego 2. Ponadto zaobserwowano, że zmiana stężenia tlenku miedzi lub trójtlenku antymonu z 4% do 10% powoduje zwiększenie efektywności smarowania.

WPROWADZENIE

Smary plastyczne są najczęściej stosowanymi środkami do zmniejszania tarcia i zużycia w ślizgowych węzłach tarcia pracujących w obszarze tarcia mieszanego. To szerokie zastosowanie jest głównie wynikiem ich zdolności tworzenia na współpracujących powierzchniach grubych warstw granicznych. Badania [L. 1–3] wykazały, że warstewka, jaką tworzy smar plastyczny na współpracujących powierzchniach, ma grubość od 1,2 do 3,5 razy większą od grubości, jaką może tworzyć ich olej bazowy. Praktyka eksploatacyjna pokazuje, że komponenty smarów plastycznych nie zapewniają im dobrych własności smarnych przy dużych obciążeniach. Powodem tego jest stosunkowo niska temperatura desorpcji warstwy granicznej utworzonej na smarowanych powierzchniach współpracujących elementów. Polepszenie tych własności można osiągnąć różnymi metodami. Najprostszym i najefektywniejszym sposobem jest wprowadzenie w skład smarów plastycznych tzw. napełniaczy. Według [L. 5, 20, 24] przez pojęcie napełniacz rozumie się substancję o zróżnicowanym stężeniu, która nie rozpuszcza się w plastycznej osnowie i nie zakłóca struktury koloidalnej smaru. Najważniejszą funkcją napełniacza w smarze jest polepszenie jego właściwości przeciwzatarciowych i przeciwzużyciowych, co ma szczególne znaczenie dla węzłów pracujących w ekstremalnych warunkach, tj. przy dużych naciskach i małych prędkościach poślizgu. Napełniacz ma również polepszać właściwości ślizgowe powstałej kompozycji smarnej, tj. powodować zmniejszenie strat tarcia w węzle ślizgowym. Mechanizm działania napełniaczy, najogólniej ujmując zagadnienie, polega na wytworzeniu w procesie tarcia na współpracujących powierzchniach cieniutkiej warstewki silnie związanej fizycznie lub chemicznie z podłożem, charakteryzującej się małą wytrzymałością na ścinanie oraz dużą plastycznością i wytrzymałością cieplną. Działanie napełniacza w węzle ślizgowym jest podwójne: po pierwsze – wypełniając nierówności na współpracujących powierzchniach – zwiększa rzeczywistą powierzchnię styku, zmniejszając tym samym naciski jednostkowe, po drugie – tworząc cienkie warstewki – chroni trące się powierzchnie przed bezpośrednim stykiem, a przy ich ruchu względnym zapewnia przesuw w obszarze tych warstewek.

Funkcję napelniacza pełnią z reguły smary stałe, najczęściej o budowie anizotropowej, tj. charakteryzujące się dużą wytrzymałością na docisk, a małą na ścinanie (mały współczynnik tarcia). Do najwcześniej poznanych i najbardziej popularnych napelniaczy należą: grafit, dwusiarczek molibdenu i dwusiarczek wolframu [L. 5, 19]. Skuteczność ich działania, zależna od ich stanu fizycznego i stężenia w smarze plastycznym, została dość dokładnie poznana i opisana w literaturze, np. [L. 2, 3, 9, 10, 12, 15, 23]. Perspektywnym kierunkiem polepszania przeciwnych i przeciwzużyciowych właściwości smarów plastycznych jest ich modyfikowanie zestawem takich napelniaczy, które tworzą warstwy graniczne charakteryzujące się tym, że przy wzroście temperatury w węźle ślizgowym ulegają one rozkładowi, a produkty tego rozpadu wchodzi ponownie w reakcje ze współpracującymi powierzchniami i tworzą nowe warstwy graniczne, które zapewniają węzłowi ślizgowemu dalsze niezawodne działanie. Pakietami takimi mogą być np. proszek miedzi i aromatyczna zasada Schiffa [L. 14] lub proszek miedzi i acetyloaceton [L. 13].

Z analizy literatury na temat efektywności smarowania smarami plastycznymi wynika, że metoda zwiększania efektywności smarów plastycznych przez ich napelnianie pozwala znacznie polepszać ich efektywność smarowania, pod warunkiem że własności napelniacza i jego zawartość procentowa zostały poprawnie dobrane. Brak ogólnego matematycznego modelu tarcia mieszanego sprawia, że pozyskiwanie informacji pozwalających ocenić stopień przydatności wytypowanego związku do pełnienia funkcji napelniacza w danym smarze plastycznym, jak i określenie optymalnej jego zawartości ze względu na minimum tarcia i zużycia jest możliwe tylko na drodze eksperymentalnej.

W Katedrze AiIP Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu przeprowadzono preselekcyjne badania tribologiczne, których celem było określenie efektywności smarowania kompozycji utworzonych z tlenków metali i półmetali oraz jednego smaru stałego.

METODA I WARUNKI BADAŃ

Badania były prowadzone na standardowym aparacie czterokulowym, produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu. Jako kryteria oceny efektywności działania badanych kompozycji przyjęto: graniczne obciążenie zatarcia F_{oz} oraz graniczny nacisk zatarcia p_{oz} . Analizowano kompozycje smaru plastycznego zawierające 4% i 10% wagowo tlenków: Bi_2O_3 , Sb_2O_3 , CuO , ZnO , TiO_2 . Jako smar bazowy przyjęto smar plastyczny Maszynowy 2 nie posiadający w swoim składzie dodatków uszlachetniających, zaliczany do grupy tańszych smarów.

Testy prowadzono przy prędkości wrzeciona 500 obr/min, pod wzrastającym w sposób ciągły obciążeniem (zaczynającym się od zera) z szybkością 409 N/s, aż do uzyskania zatarcia kulek lub osiągnięcia maksymalnego obciążenia kulek 7200 N. Pomiaru zużycia kulek dokonywano w kierunku równole-

głym i prostopadłym do śladu zużycia. Ślady zużycia kulek mierzono pod mikroskopem warsztatowym z dokładnością do 0,01 mm. Wszystkie próby powtarzano zawsze pięciokrotnie. Na podstawie licznych badań oraz spostrzeżeń zawartych w pracy [L. 22] do oceny efektywności smarowania zaproponowanych kompozycji smarnych zastosowano tzw. graniczną siłę zatarcia F_{oz} [N] oraz graniczny nacisk zatarcia p_{oz} [N/mm²]. Graniczny nacisk zatarcia odpowiada nominalnemu naciskowi na powierzchni śladu zużycia przy zatarciu wężła lub pod koniec biegu badawczego, jeśli zatarcie nie nastąpi. Wyliczono go ze wzoru wprowadzonego w pracy [L. 22], którego postać jest następująca:

$$p_{oz} = 0,52 \frac{F_{oz}}{d^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right].$$

Wyniki opracowano statystycznie przy poziomie ufności 95%, stosując test t-Studenta.

WYKAZ MATERIAŁÓW I ICH KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA

Do badań zastosowano następujące materiały:

1. Smar plastyczny Maszynowy 2. Jest to smar produkowany na bazie rafinowanego oleju o lepkości 6,2–7 cST w 100°C i mydła wapniowego wysokocząsteczkowych kwasów tłuszczowych. Przeznaczony jest on do smarowania łożysk ślizgowych oraz innych powierzchni trących z wyjątkiem łożysk tocznych, w zakresie temperatur –10°C do 60°C. Może być stosowany w centralnych układach smarowania.
2. Kulki łożyskowe ze stali ŁH15 o średnicy 12,7 mm wykonane w 16 klasie dokładności i grupie wymiarowej S = 0 μm. Pozostałe cechy kulek były zgodne z normą PN-83/M-86452.

Do pełnienia funkcji napełniacza wybrano następujące smary stałe:

- Proszek tlenku miedzi CuO. Miedź zaliczana jest do metali, które wykazują skłonność do szepiania I i II rodzaju [L. 6, 18]. Posiada ona zdolność do platerowania stalowych powierzchni podczas tarcia [L. 8, 17], dzięki czemu zwiększa ich rzeczywistą powierzchnię styku.
- Proszek trójtlenku antymonu (Sb₂O₃). Hebda i Wachal [L. 7] charakteryzują go jako związek o budowie warstwowej i zaliczają go wspólnie z grafitem i siarczanami do grupy smarów stałych. Czupryk [L. 4], badając na maszynie typu „Amsler” zużycie skojarzenia stal 45 surowa–stal 45 ulepszona cieplnie, które było smarowane olejem Lux 10 i jego mieszaniną z tlenkiem antymonu, jednoznacznie potwierdził dobre własności smarne tego tlenku. Zużycie badanych par stalowych smarowanych olejem z Sb₂O₃ było ponad 50% procent mniejsze od smarowanych tylko olejem Lux 10. Według Golego [L. 6] antymon należy do grupy metali i stopów, które nie wykazują skłonności do szepiania, a w warunkach zużywania utleniające-

go tworzy kruche warstewki tlenków słabo związanych ze stalowym podłożem. Natomiast S. Płaza [L. 16] tlenek antymonu jako związek o niskiej twardości bez struktury warstwowej zalicza do grupy środków smarowych stałych.

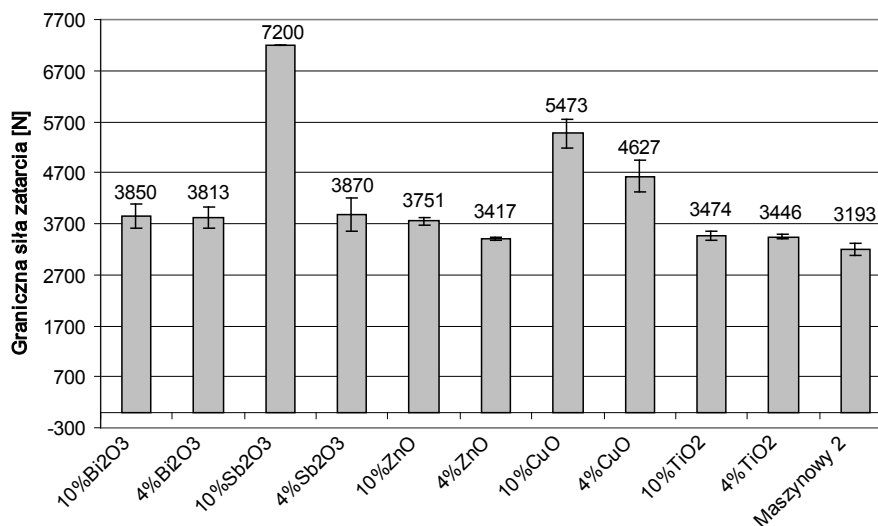
- Dwutlenek tytanu TiO_2 jest dobrze poznanym i powszechnie stosowanym materiałem. W postaci powłoki na metalach znajduje zastosowanie w ochronie przed korozją oraz jako materiał odporny na ścieranie. Przykładowo, para cierna tytan natleniony–stal C45 wykazuje intensywność zużycia 160 razy mniejszą niż tytan metaliczny–stal C 46 [L. 11].
- Tlenek cynku ZnO i trójtlenek bizmutu Bi_2O_3 . Bizmut i cynk wg Golego [L. 6] nie wykazują skłonności do szepiania. Zaliczone są do grupy III i IV. Metale te, zdaniem autora, w zużywaniu utleniającym tworzą kruche i słabo związane z metalem podstawowym warstewki tlenkowe. Warstewki te ulegają szybkiemu zniszczeniu, zwiększając intensywność zużycia. Natomiast Czupryk [L. 4] w badaniach pary ślizgowej miedź–stal 45, smarowanej olejem Lux i jego mieszaniną z CuO oraz Bi_2O_3 wykazał własności smarne, a nie ściernie tych tlenków.

WYNIKI BADAŃ

Zestawienie wyników badań w postaci wartości granicznej siły zatarcia F_{oz} dla analizowanych kompozycji smarowych przedstawiono na **Rys. 1**. Na **Rys. 2** zilustrowano wartości granicznego nacisku zatarcia p_{oz} dla tych samych smarów. Porównując otrzymane wartości, widać, że wprowadzenie do Smaru Maszynowego 2 każdego z przyjętych napelniczy zawsze powodowało polepszenie charakterystyki tribologicznej utworzonej kompozycji. Oceniając ilościowo tę poprawę, widać, że jest ona różna i zależy od rodzaju napelnicza. Dwutlenek tytanu, tlenek cynku i trójtlenek bizmutu powodują niezbyt dużą jej poprawę, tj. w granicach 8 do 20%. Graniczna siła zatarcia dla kompozycji z tymi napelniczami wynosiła odpowiednio: 3474, 3751 i 3850 N, a dla smaru bazowego 3193 N. Dwa pozostałe napelnicze, tj. tlenek miedzi i trójtlenek antymonu są wyraźnie lepszymi modyfikatorami Smaru Maszynowego 2, gdyż powodują poprawę kryterialnych wartości w granicach od 71 do 125%. Dla kompozycji z tymi napelniczami graniczna siła F_{oz} osiągnęła wartość 5473 i 7200 N.

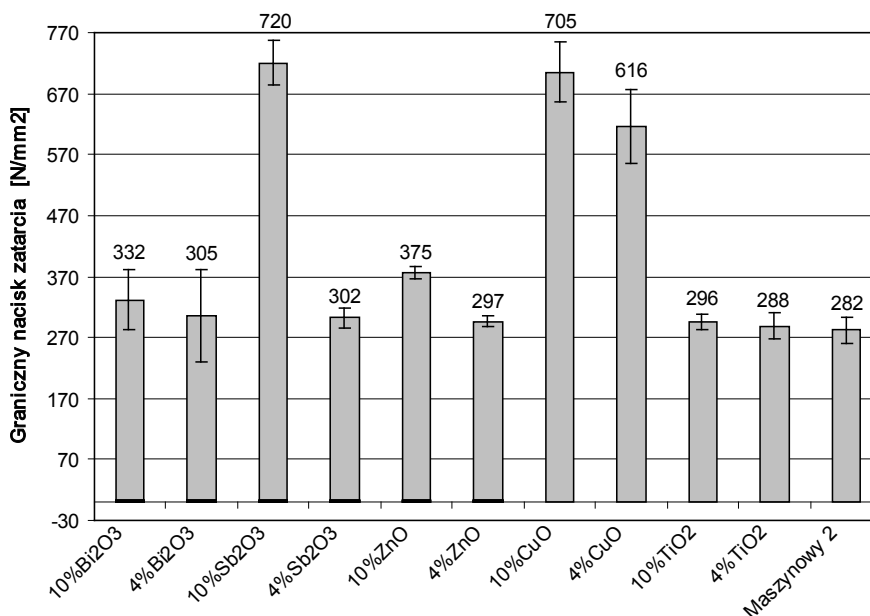
Analizując wpływ stężenia użytych napelniczy w Smarze Maszynowym 2 na efektywność smarowania utworzonymi kompozycjami widać, że jest on różny. Zmiana stężenia z 4% na 10% praktycznie nie poprawiła właściwości smarowych kompozycji z dwutlenkiem tytanu, tlenkiem cynku i trójtlenkiem bizmutu. Graniczna siła zatarcia dla kompozycji z 4% i 10% tych napelniczy wynosiła odpowiednio: 3446 i 3474; 3417 i 3751 oraz 3813 i 3850 N. To samo zwiększenie stężenia proszku tlenku miedzi lub trójtlenku antymonu powodowało znacznie większy wzrost wielkości kryterialnych. Szczególnie duży przyrost nastąpił w kompozycji z 10% trójtlenku antymonu. Graniczna siła zatarcia, która dla

kompozycji z 4% miała wartość 3870 N, dla kompozycji z 10% trójtlenku antymonu wzrosła o ok. 86% i wynosiła 7200 N. Podobne spostrzeżenia można poczynić na podstawie wyników przedstawionych na **Rys. 2**, tj. stosując kryterium granicznego nacisku zatarcia.



Rys. 1. Wpływ napelniaczy na graniczną siłę zatarcia F_{oz}

Fig. 1. Effect of fillers on limit seizure force F_{oz}



Rys. 2. Wpływ napelniaczy na graniczny nacisk zatarcia p_{oz}

Fig. 2. Effect of fillers on limit seizure pressure p_{oz}

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają wyciągnąć następujące wnioski:

1. Dwutlenek tytanu, tlenek cynku i trójtlenek bizmutu oceniane według kryterium granicznej siły zatarcia i granicznego nacisku zatarcia są mało efektywnymi napełniaczami Smaru Maszynowego 2.
2. Trójtlenek antymonu i tlenek miedzi tworzy ze Smarem Maszynowym 2 kompozycje smarowe, które na stalowych powierzchniach ślizgowych tworzą wysokoefektywne warstwy graniczne.
3. Optymalnej (ze względu na kryteria efektywności smarowania) zawartości tlenu miedzi lub trójtlenku antymonu w Smarze Maszynowym 2 należy poszukiwać, stosując metodę planowanego eksperymentu.

LITERATURA

1. Bakašvili D.L., Imerlišvili T.V.: Prognozirovanie toščiny plenki plastičnych smazok v uprugidrodinamičeskich kontaktach, *Trenie i iznos* 1987, T.8, No 2, s. 236–243.
2. Braitwaite E.R.: *Lubrication and Lubricants*, Elsevier Publishing Comp., Amsterdam, London, New York 1967.
3. Czarny R., Krawiec S., Lawrowski Z.: Niektóre zagadnienia smarowania smarami plastycznymi, *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, 1987 R. 22 z. 3/4, s. 229–249.
4. Czupryk W.: Wpływ zjawisk wtórnych na zużywanie utleniające metali w procesie tarcia poślizgowego, *Wyd. Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław* 2000.
5. Fuks I.G.: *Dobavki k plastičnym smazkam*, Chimja, Moskva 1982.
6. Golego N.L.: *Schvatyvanije v mašinach i metody jego ustranienija*, Izdatelstvo Technika, Kijev 1965.
7. Hebda M., Wachal A.: *Trybologia*, WNT, Warszawa 1980.
8. Ilinn. N., Sedova V.L., Jurcenko JU.N.: Vlijanie metoda i uslovij nanesenija mednovo pokrytija na prirabatyaemost par trenija skolženija, *Trenie i iznos*, 1986, T.VII, No1, s. 164–167.
9. Krawiec S.: Wpływ ilości MoS₂ w smarze plastycznym na efektywność smarowania łożysk ślizgowych, *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, PAN, 1991, vol. 26, z.1, s. 47–58.
10. Krawiec S., Lawrowski Z.: Einfluss des Graphitzustandes auf die Schmierfähigkeit der Mischung: Schmierfett–Graphit, *Schmierungstechnik*, 1980, Nr 7, s. 215–217.
11. Król S., Ptacek L., Zalisz Z., Hepner M.: Dyfuzja tlenu w tytanie a jego zużycie ścierne cz. II. Przeciwpróbką z hartowanej stali C45, *Tribologia* 6–2003 s. 45–58.
12. Kuržavin V.V.: Metaličeskie pokrytija nanosimye v rasplavach solej, ich issledovanie i ispolzovaniev procesach obrabotki metallov davleniem, *Trenie i iznos*, 1992, T. 13, No 3, s. 487–495.
13. Kužarov A.S., Oniščuk N.JU., Sučkov V.V.: Vlijanie medsoderžaščich dobavok na tribotečničeskie svojstva plastičnoj smazki lita, *Trenie i iznos*, 1989, T.10, No 5, s. 901–908.

14. Kužarov A.S., Oniščuk N.JU.: Vlijanie aromatičeskich osnovanij Šiffa na tribotečničeskie svojstva medso- deržaščich plastičnych smazok v pare trenija stal–stal, *Trenie i iznos* 1987, T. 8, No 6, s. 1105–1110.
15. Mang T.: *Die Schmierung In der Metalbearbeitung*, Würzburg, Vogel–Bücherverlag, 1983.
16. Płaza S.: *Fizykochemia procesów tribologicznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 1997.
17. Pytko S., Marzec S.: Ocena tribologicznych właściwości cieczy opartych na kompleksach miedzi i niklu – stosowanych podczas skrawania, *Tribologia*, 4–1995, s. 373–381.
18. Roach A.E., Goodzeit C.L., Munnicut R.P.: Scoring characteristics of thirty-eight elemental metals in high speed sliding contact with steel, *Trans. A.S.M.E.* 1956, No 78, s. 1659–1667.
19. Sinicyn V.V.: *Plastičnyje smazki za rubieżom*, Spravočnik, Moskva 1983.
20. Sinicyn V.V.: *Plastičnyje smazki w SSSR*, Moskva 1984.
21. Švarcman V.Š., Šojchet V.H., Imerlišvili T.V., Čchaidze G.R.: Tołščina plenki plastičnych smazok pri različnych režimach raboty tjaželonagružennych uprugohidrodinamičeskich kontaktov, *Trenie i iznos*, 1988, T9, No 1, s. 129–136.
22. Tuszyński W.: *Badanie przeciwzużyciowych oddziaływań środków smarowych (rozprawa doktorska)*. Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej. Sulejówek 1999.
23. Vielikovskij D.S., Poddubnyj V.N.: *Konsistentne smazki*, Moskva, Izd. Chimia, 1966.
24. Wachal A., Kulczycki A.: Trybologiczne własności smarów plastycznych zawierających polimery niskotarciowe, *Trybologia*, 1986, nr 4–5, s. 21–23.

Summary

The paper presents the results of preliminary studies into the effect of different fillers (Bi_2O_3 , Sb_2O_3 , CuO , ZnO , TiO_2) in calcium grease (Machine Grease 2) on the efficiency of the lubrication of steel sliding pairs. Tribological tests were carried out using a four-ball tester. Grease mixtures containing 4% and 10% by wt. of one of the fillers were tested. For purposes of comparison, the tribological characteristics of Machine 2 grease without any filler were determined. The efficiency of the greases was evaluated according to two criteria: limit seizure load F_{0z} and limit seizure pressure p_{0z} . The experimental results were statistically processed at a confidence level of 95% using Student's t-test. Titanium dioxide, zinc oxide, and bismuth trioxide were found to be poorly effective fillers of Machine Grease 2. Moreover, it was found that a change in the concentration of copper oxide or antimony trioxide from 4% to 10% results in an increase in lubrication efficiency.