

## **INTENSYWNOŚĆ ZUŻYCIA STALI PRACUJĄCEJ W PYLE ZWYKŁYM, WYZNACZONA W WARUNKACH POLOWYCH**

Piotr Kostencki

*Instytut Inżynierii Rolniczej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

**Streszczenie.** Przeprowadzono polowe badania, w których określono intensywność zużycia próbek wykonanych z dwóch gatunków stali, przy trzech wartościach nacisku na glebę. Podczas badań próbki ślizgały się po glebie o uziarnieniu pyłu zwykłego i wilgotności wynoszącej około 14,4%. Wyznaczono liniową i masową intensywność zużycia stali oraz opisano ich zużycie z zastosowaniem potęgowego modelu zużycia.

**Słowa kluczowe:** zużycie ściernie stali, nacisk gleby i zużycie stali

### **Wstęp**

Elementy robocze narzędzi pracujących w glebie powinny posiadać dużą odporność na zużycie oraz wysoką udarność. Związane jest to z warunkami ich pracy, w których podlegają one zużyciowemu oddziaływaniu gleby oraz narażone są na przeciążenia, powstałe przy uderzeniu o osadzone w glebie kamienie. Odporność ścierną materiałów stosowanych na te elementy często określa się laboratoryjnie, gdzie zmiennymi zazwyczaj są skład chemiczny materiałów oraz struktura i twardość, wynikające z zastosowanej obróbki cieplnej. Wynikiem badań jest uszeregowanie ocenianych materiałów pod względem intensywności zużycia, co stwarza podstawę do wnioskowania o ich przydatności. Warunki badań laboratoryjnych z reguły odbiegają od warunków eksploatacji elementów, w dużej mierze ze względu na dążenie w testach laboratoryjnych do przyspieszonego zużycia materiałów, osiąganego przez stosowanie ośrodków pracy o dużej zdolności ścierania. Przykładowo w badaniach Łabęckiego jako ścierniwo zastosowano wysuszony elektrokorund [Łabęcki i in. 2004]. W części stanowisk badawczych istnieje możliwość wywołania znacznych wartości nacisku między ścierniwem i próbką, co również wpływa na zwiększenie intensywności zużycia, a nie zawsze jest adekwatne w odniesieniu do nacisków powstających przy eksploatacji elementów. Z kolei w innych rozwiązaniach konstrukcyjnych stanowisk wartość nacisku ścierniwa na próbkę nie jest znana. Wymienione pokrótce czynniki wpływają na ograniczoność badań laboratoryjnych. Zakres poznawczy oceny ściernego zużycia stali byłby znacznie szerszy, przy realizacji badań w warunkach polowych. Jednak badania takie wykonywane są rzadko [Lejman i Owsiak 1996, Sewierniew 1972]. Przymuszczalnie wynika to z większego skomplikowania i pracochłonności badań polowych. Dodatkową wadą badań polowych może być duża zmienność warunków, utrudniająca interpretację wyników, co w przypadku badań laboratoryjnych nie występuje.

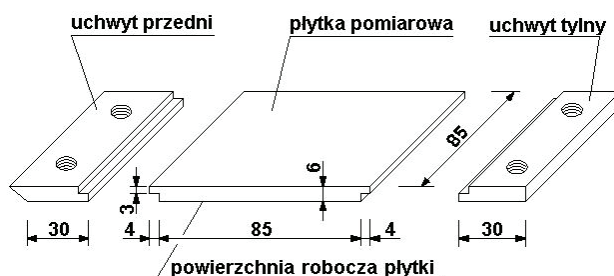
## Cel badań

Celem badań było wyznaczenie w warunkach polowych intensywności zużycia dwóch gatunków stali pracujących w glebie o składzie granulometrycznym pyłu zwykłego, przy trzech wartościach nacisku próbek stali na glebę. Przyjęto, że ocena przeprowadzona zostanie w glebie o strukturze charakterystycznej dla okresu wykonywania orek.

## Metodyka badań

W badaniach zastosowano stale stosowane przez firmę Lemken oraz Zakład Badawczo-Wdrożeniowy Techniki Rolniczej B. M. Worona. W obu przypadkach była to stal borowa o zastrzeżonym składzie chemicznym. Stąd w publikacji, przy identyfikacji materiałów, posłużono się nazwami przedsiębiorstw. Stal stosowana przez firmę Lemken, poza węglem i borem, posiada jeszcze mangan, krzem i chrom [Napiórkowski 2005]. Natomiast, według danych uzyskanych od ZBWTR B. M. Worona, stal stosowana w tym przedsiębiorstwie zawiera około 0,3% węgla oraz mikrodotatki boru, manganu, krzemu, chromu, niklu, molibdenu, wanadu, tytanu i aluminium.

Wykonane z badanych materiałów płytki pomiarowe wraz z uchwytami (rys. 1) poddane zostały hartowaniu (temperatura i czas wygrzewania odpowiednio 860°C i 30 min., studzenie w wodzie) oraz odpuszczaniu (temperatura wygrzewania około 400°C, czas 15 min., studzenie w powietrzu). Po tych zabiegach płytki i uchwyty obustronnie, w kompletach przeszlifowano. Twardość materiału każdej płytki mierzono w czterech miejscach. Wyniki tych pomiarów podano w tabeli 2.

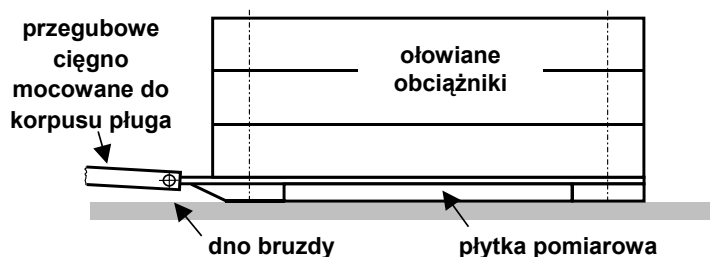


Rys. 1. Płytki pomiarowe wykorzystywane podczas badań

Fig. 1. Measuring plates used during tests

W czasie badań płytki ślizgały się po dnach bruzd wyoranych przez korpusy pługa. Stosowano przy tym specjalne stanowiska (rys. 2), mocowane przegubowo do korpusów. Zmienna liczba ołowianych obciążników w stanowiskach umożliwiła wykonanie pomiarów przy trzech wartościach nominalnego nacisku płytek na glebę: około 5,7, 9,0 i 11,9 kPa. W celu uzyskania znacznego zużycia płytek zastosowano drogę tarcia wynoszącą 130,9 km, po przebyciu której mierzono ubytek masy i grubości płytek oraz chropowatość ich powierzchni roboczej. Pomiaru masy wykonywano z dokładnością  $\pm 0,01$  g. Grubość

plytek mierzono w szesnastu równomiernie rozłożonych miejscach, z dokładnością  $\pm 0,001$  mm. Profil powierzchni każdej płytki określano na trzech odcinkach pomiarowych o długości 15 mm, stosując profilografometr Hommel Tester T1000.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego mocowanego do korpusu pługa

Fig. 2. The scheme of measuring stand mounted to the plough body

W celu ustalenia drogi tarcia płytek, uprawiane w czasie badań pola dzielono na fragmenty o kształcie trapezów. Dla każdego fragmentu, na podstawie liczby przejazdów pługa i średniej długości przejazdu, wyliczano drogę tarcia. Do pomiarów długości boków fragmentów pól wykorzystano odbiornik pomiarowy GPS Leica GS20.

W czasie badań prowadzono systematyczne pomiary glebowych i eksploatacyjnych warunków pracy próbek stali. Dla gleby z dna bruzd ustalono jej gatunki (na podstawie map glebowo-rolniczych), uziarnienie i udział żwiru (dla zbiorczych prób glebowych; odpowiednio metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego i metodą sitową), zawartość próchnicy (dla zbiorczych prób; na podstawie zawartości węgla organicznego oznaczonej metodą Tiurina), odczyn (dla zbiorczych prób; metodą potencjometryczną), aktualną wilgotność (z warstwy 0-2,5 cm; metodą suszarkowo-wagową), gęstość objętościową (wykorzystując cylinderki Kopecky'ego o wysokości 5 cm i objętości  $100\text{ cm}^3$ ), zwięzłość (dla warstwy  $\pm 2,5$  cm przeciętnej głębokości orki; stosując penetrometr sprężynowy ze stożkiem o średnicy podstawy 19 mm i kącie wierzchołkowym  $30^\circ$ ). W zakresie parametrów eksploatacyjnych mierzono głębokość orki i prędkość ślizgania próbek.

## Wyniki badań

Warunki badań przedstawiono w tabeli 1. Podczas pomiarów próbki kontaktowały się z glebą o składzie granulometrycznym pyłu zwykłego z małym udziałem żwiru i kwaśnym odczynie. Prędkość ślizgania próbek odpowiadała typowej prędkości orki.

Wartości bezwzględnego zużycia masowego i ubytku grubości badanych próbek stali podano w tabeli 2. Zawiera ona też dane o, określonej parametrem  $R_a$ , chropowatości ich powierzchni roboczej. Na podstawie bezwzględnego zużycia próbek wyznaczono wartości jednostkowego zużycia masowego i jednostkowego ubytku grubości badanych stali (rys. 3).

Tabela 1. Warunki pracy próbek  
Table 1. Working conditions of the samples

Wielkość		Ustalona wartość	
Procentowy udział gatunków gleb, na których pracowały próbki [%]	warstwa orna	pył zwykły	- około 94
		piasek gliniasty mocny pylasty	- około 6
Przeciętny skład granulometryczny gleby [%]		piasek (1-0,1 mm)	- 17,3 (s=10,5)
		pył (0,1-0,02 mm)	- 56,2 (s=7,2)
		części spławialne (poniżej 0,02 mm)	- 26,5 (s=4,2)
Udział żwiru w glebie [%]		1,5 (s=2,0)	
Zawartość próchnicy [%]		2,48 (s=0,27)	
Odczyn gleby		5,2 - 5,5 pH (w KCl), 6,5 - 7,1 pH (w H <sub>2</sub> O)	
Wilgotność aktualna gleby w warstwie 0-2,5 cm dna bruzdy [% <sub>wag.</sub> ]		14,4 (s=1,8)	
Gęstość objętościowa gleby w warstwie 0-5 cm dna bruzdy [g·cm <sup>-3</sup> ]		1,50 (s=0,09)	
Zwięzłość gleby w warstwie ± 2,5 cm głębokości orki [kPa]	1390 (s=680)		
Głębokość robocza pługa [cm]	19,2 (s=2,4)		
Prędkość ślizgania [m·s <sup>-1</sup> ]	2,08 (s=0,07)		

s – odchylenie standardowe

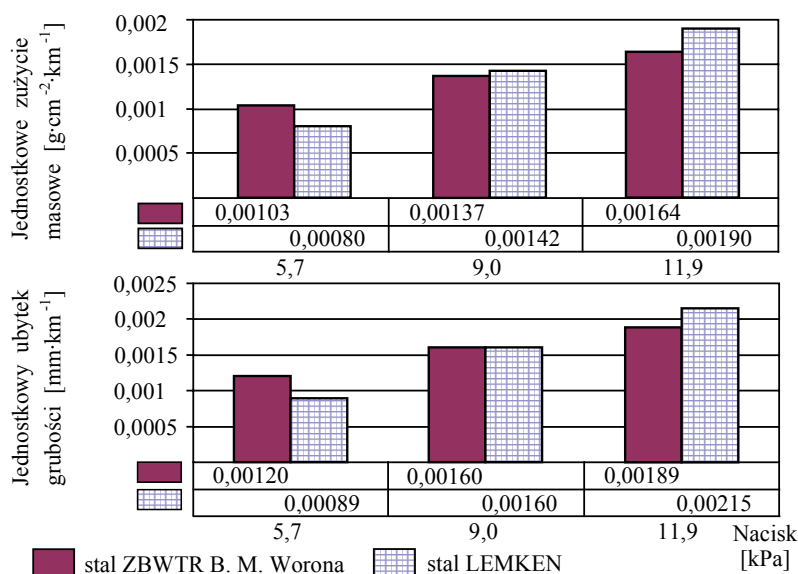
Tabela 2. Bezwzględny ubytek masy i grubości, określona parametrem Ra chropowatość powierzchni próbek po drodze tarcia 130,9 km oraz twardość materiału próbek

Table 2. The absolute decrease of mass and the thickness, the roughness of surface of samples defined by the Ra parameter after friction distance of 130.9 km as well hardness of material of samples

Ubytek masy [g]	Ubytek grubości [mm]	Ra [μm]	Ubytek masy [g]	Ubytek grubości [mm]	Ra [μm]	Ubytek masy [g]	Ubytek grubości [mm]	Ra [μm]
przy nominalnym nacisku [kPa]								
5,7			9,0			11,9		
STAL STOSOWANA PRZEZ ZBWTR B. M. WORONA								
9,77	0,157 s=0,075	1,42 s=0,29	12,91	0,210 s=0,086	0,92 s=0,08	15,46	0,247 s=0,072	1,03 s=0,12
twardość materiału próbki [HRC]								
49,3 s=1,2			48,8 s=0,9			49,9 s=1,6		
STAL STOSOWANA PRZEZ FIRME LEMKEN								
7,60	0,117 s=0,049	1,22 s=0,19	13,45	0,210 s=0,098	1,17 s=0,09	17,92	0,281 s=0,095	1,23 s=0,35
twardość materiału próbki [HRC]								
50,8 s=0,5			49,8 s=0,5			49,5 s=0,5		

s – odchylenie standardowe

Jednostkowe zużycie masowe wyliczono przez odniesienie bezwzględnego ubytku masy próbek do ich powierzchni i drogi tarcia, a jednostkowy ubytek grubości jako odniesienie bezwzględnej zmiany grubości próbek do drogi tarcia. Intensywność zużycia obu materiałów nie była duża. Pomijając cechy stali, wpływ na to miała ich praca w pyłe zwykłym, który cechuje się, szczególnie w stanie nawilgocenia, małą zdolnością ścierania, ze względu na duży udział drobnych cząstek. Relacje wartości wskaźników zużycia masowego i ubytku grubości materiałów są zbliżone (rys. 3), gdyż zużycie masowe i liniowe jest ściśle z sobą powiązane. Jest zrozumiałym, że zwiększeniu nacisku próbek na głębę odpowiadał wzrost bezwzględnego oraz jednostkowego zużycia stali (tab. 2, rys. 3). Dla stali stosowanej przez firmę Lemken, wzrostowi nacisku z 5,7 do 11,9 kPa (wzrost blisko 2,1-krotny) odpowiadał około 2,4-krotny wzrost bezwzględnego i jednostkowego zużycia. Dla stali ZBWTR B. M. Worona relacje te wynosiły około 1,6.



Rys. 3. Jednostkowe zużycie masowe i jednostkowy ubytek grubości stali w zależności od nacisku  
 Fig. 3. Specific mass wear and specific loss of thickness of steel samples dependent on pressure

Intensywność zużywania się materiałów może być opisywana modelem potęgowym:

$$I_h = K p^x, \quad (1)$$

- $I_h$  – liniowa intensywność zużycia (iloraz bezwzględnego ubytku grubości i drogi tarcia; wielkość bezwymiarowa),
- $p$  [kPa] – nominalny nacisk,
- $K, x$  – współczynniki zależne od właściwości kontaktujących się materiałów i warunków pracy [Zwierzycki 1990, 2002].

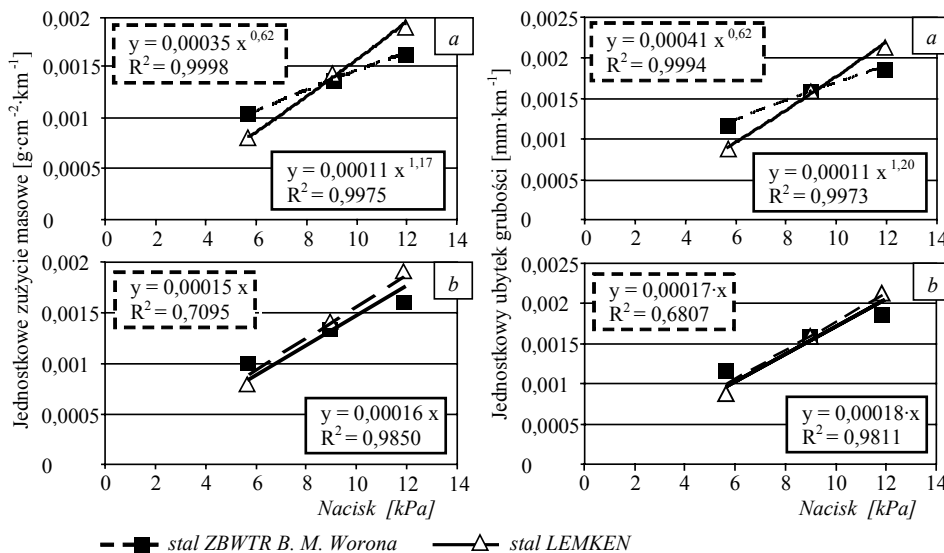
Przyjmuje się [Zwierzycki 1990], że zużyciu przez mikroskrabanie odpowiada wykładnik potęgi równy jedności. Wyznaczone na podstawie wyników badań zależności opisujące liniową intensywność zużycia badanych materiałów (w zakresie stosowanych wartości nacisku) mają postać:

$$\text{– stal ZBWTR B. M. Worona} \quad I_h = 0,415 \cdot 10^{-9} p^{0,61}, \quad (2)$$

$$\text{– stal firmy Lemken} \quad I_h = 0,118 \cdot 10^{-9} p^{1,17}. \quad (3)$$

Różne wartości współczynników  $K$  i  $x$  wskazują na różnice w intensywności i mechanizmach zużywania się badanych materiałów. W przypadku stali ZBWTR B. M. Worona wykładnik potęgi jest prawie dwukrotnie mniejszy, a współczynnik  $K$  ponad 3,5-krotnie większy niż dla stali Lemken. Procesy ściernego zużycia tych stali mogą być modyfikowane w wyniku wpływu brzdowania, substancji powierzchniowo czynnych oraz substancji absorbowanych do warstwy wierzchniej (wodór) [Napórkowski 2005, Zwierzycki 1990, Zwierzycki 2002]. Odmienność procesów zużycia spowodowana też może być ewentualnymi różnicami w strukturach stali, wynikającymi z różnych ich składów chemiczny.

Wykorzystując wartości jednostkowego zużycia masowego i jednostkowego ubytku grubości badanych stali, opisano ich zużycie funkcjami potęgowymi i liniowymi (rys. 4). Przy opisie potęgowym otrzymano większe wartości współczynnika determinacji  $R^2$  oraz wartości wykładników potęg zbliżone do występujących we wzorach (2) i (3). Wskazuje to na poprawność zastosowania funkcji potęgowej do opisu zużywania się materiałów pracujących w glebie.



Rys. 4. Jednostkowe zużycie masowe i jednostkowy ubytek grubości stali w zależności od nacisku: a – funkcje potęgowe, b – funkcje liniowe

Fig. 4. Specific mass wear and specific wear of steel thickness dependent on pressure: a – power functions, b – linear functions

Nie stwierdzono związku między stanem powierzchni próbek, wywołanym ściernym oddziaływaniem gleby, a rodzajem materiału i wartością nacisku. Profile powierzchni próbek, o średniej wartości parametru Ra w zakresie od 0,92 do 1,42  $\mu\text{m}$  (tab. 2), cechowały się względnie znacznymi zagłębieniami przy niewielkich wierzchołkach. Przeciętna głębokość zagłębień, powstałych najprawdopodobniej na skutek oddziaływania dużych, silnie utwardzonych ziaren gleby (żwir, gruby piasek), wynosiła około 10,5  $\mu\text{m}$  ( $s=3,5 \mu\text{m}$ ), przy średnim odstępnie wynoszącym około 3 mm ( $s=1,5 \text{ mm}$ ).

## Podsumowanie

1. W warunkach badań (tab. 1), przy wzroście nacisku gleby od 5,7 do 11,9 kPa jednostkowe zużycie masowe stali stosowanej przez ZBWTR B. M. Worona zwiększyło się z 0,00103 do 0,00164  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{km}^{-1}$ , a stali firmy Lemken – z 0,00080 do 0,00190  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{km}^{-1}$ . Natomiast jednostkowy ubytek grubości stali ZBWTR B. M. Worona i firmy Lemken wzrósł odpowiednio od 0,00120 do 0,00189 i od 0,00089 do 0,00215  $\text{mm}\cdot\text{km}^{-1}$ . Przy stali ZBWTR B. M. Worona wystąpił więc około 1,6-krotny, a przy stali firmy Lemken około 2,4-krotny wzrost intensywności jej zużycia.
2. Na podstawie wyznaczonych potęgowych modeli zużycia badanych stali (wzory 2 i 3) można stwierdzić, że mechanizmy ich zużywania się są odmienne. Świadczą o tym różne we wzorach (2) i (3) wartości współczynników.
3. Do opisu zużycia materiałów pracujących w glebie w zależności od nacisku proponuje się stosowanie funkcji potęgowych. Otrzymano wysoką zgodność wyników przeprowadzonych badań z takim przyporządkowaniem matematycznym.

## Bibliografia

- Lejman K., Owsiak Z.** 1996. Wyznaczenie zużycia ściernego próbek stali w warunkach polowych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Nr 302. s. 45-51.
- Łabęcki M., Gościański M., Pirowski Z., Olszyński J.** 2004. Badania laboratoryjne oraz eksploatacyjne wybranych elementów roboczych maszyn rolniczych pracujących w glebie, wykonanych z nowoczesnych żeliw ADI. Część 1. Badania laboratoryjne. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Vol. 49 (4). s. 35-40.
- Napórkowski J.** 2005. Zużyciowe oddziaływanie gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych (rozprawa habilitacyjna). Inżynieria Rolnicza. Nr12 (72).
- Sewierniew M.** (red.) 1972. Iznos detaliel selskochozjajstwiennych maszin. Kołos. Leningrad.
- Zwierzycki W.** (red.) 1990. Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach maszyn. PWN. Warszawa-Poznań.
- Zwierzycki W.** (red.) 2002. Modele prognostyczne korozyjno-mechanicznego zużywania się elementów maszyn. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji. Biblioteka Problemów Eksploatacji. Radom-Poznań.

## **WEAR INTENSITY FOR STEEL WORKING IN PLAIN DUST, DETERMINED IN FIELD CONDITIONS**

**Abstract.** The researchers performed field tests, which allowed to determine wear intensity for samples made of two steel grades, for three different values of pressure exerted on soil. During the tests samples were sliding on soil characterised by common dust grain-size distribution and humidity of approximately 14.4%. The research allowed to determine linear and mass steel wear intensity and to describe steel wear using power wear model.

**Key words:** abrasive wear of steel, soil pressure and wear of steel

**Adres do korespondencji:**

Piotr Kostencki  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
ul. Papieża Pawła VI nr 1  
71-459 Szczecin