

POLOWE BADANIA INTENSYWNOŚCI ZUŻYCIA WYBRANYCH GATUNKÓW STALI

Piotr Kostencki

Inżynieria Rolnicza, Akademia Rolnicza w Szczecinie

Streszczenie. W warunkach polowych oceniono intensywność zużycia dwóch gatunków stali stosowanych przez producentów sprzętu rolniczego na elementy robocze pracujące w glebie. Badania wykonano na glebach piaszczystych o wilgotności około 10,5 %. Określono jednostkową liniową oraz masową intensywność zużycia obu stali, przy trzech wartościach nacisku gleby. Ustalono również wartości współczynników występujących w potęgowym modelu zużycia.

Słowa kluczowe: zużycie ścierne stali, nacisk gleby i zużycie stali

Wstęp i cel badań

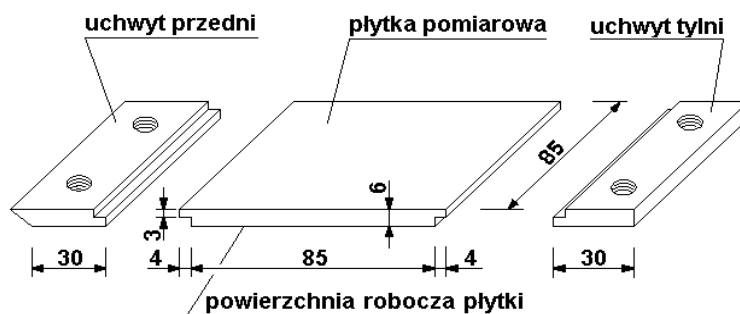
Do tej pory nie opracowano ogólnej teorii zużycia materiałów pracujących w glebie. Przyczyn można szukać w złożoności procesu, uwarunkowanego szeregiem czynników. Obejmują one cechy stosowanych materiałów, właściwości środowiska pracy i parametry eksploatacyjne [Napiórkowski 2005; Owskiak 1998; Owskiak 2000]. Najczęstszą metodą oceny odporności ściernej materiałów na elementy robocze urządzeń pracujących w glebie są badania laboratoryjne. Wykorzystywane są przy tym różnego typu urządzenia [Dobiejewski i in. 1985; Kleszczyński i in. 1998; Łabęcki 1993; Owskiak 1987; Sienko i in. 1999; Sewierniew 1972]. Sporadycznie badania takie wykonywane są w warunkach polowych [Lejman i in. 1996]. W badaniach laboratoryjnych jako ścierniwo stosowane są materiały powodujące zazwyczaj względnie szybkie zużywanie próbek (mieszanki piasku i żwiru, piasek kwarcowy, węgiel krzemowy, korund). W warunkach polowych materiały takie w czystej postaci nie występują. W przypadku zastosowania w urządzeniach jako ścierniwo gleby, praktyczną niemożliwością jest zachowanie jej struktury. Istotne różnice występują również w sposobie wytwarzania nacisku gleby. W części stanowisk laboratoryjnych nacisk ścierniwa na próbkę jest nieznaną, w pozostałych wywierany jest za pomocą obciążników. Natomiast w warunkach polowych obciążenie powierzchni elementu roboczego przez glebę jest wypadkową szeregu czynników (stanu gleby, geometrii elementu i jego ustawienia, parametrów eksploatacyjnych). W stanowiskach zużyciowych typu Haworth-ZIS 116 czy Brinell uzyskać można względnie duże obciążenia, które w odniesieniu do stosowanego ścierniwa i jego stanu nie występują w rzeczywistych warunkach pracy elementów. Z kolei w urządzeniu typu wirująca miska zakres wartości nacisków jest ograniczony i zazwyczaj jest mniejszy od rzeczywistych. Stąd warunki badań laboratoryjnych często różnią się od rzeczywistych warunków pracy narzędzi. Natomiast zaletą badań laboratoryjnych jest duża stabilność i względna łatwość kontroli warunków pracy próbek.

Celem badań było określenie intensywności zużycia wybranych gatunków stali podczas ich pracy w warunkach polowych. Założeniem badań było przeprowadzenie oceny w glebach piaszczystych o strukturze charakterystycznej dla okresu wykonywania orok.

Metodyka badań

W badaniach zastosowano dwa gatunki stali borowych używanych na elementy robocze narzędzi rolniczych, stal firmy Lemken i stal stosowaną przez Zakład Badawczo-Wdrożeniowy Techniki Rolniczej B. M. Worona. O właściwościach stali borowych w dużej mierze decyduje mikrododatek boru, wpływając na ich drobnoziarnistość [Łabęcki i in. 2007]. Stal firmy Lemken, poza węglem i borem, zawiera jeszcze mangan, krzem i chrom [Napiórkowski 2005]. Natomiast składnikami stali ZBWTR B. M. Worona, wg danych uzyskanych od przedsiębiorstwa, są węgiel w ilości około 0,3 % oraz mikrododatki boru, manganu, krzemu, chromu, niklu, molibdenu, wanadu, tytanu, aluminium, a jako wtrącenia fosfor, siarka i miedź. Dokładny skład chemiczny obu stali jest chroniony, stąd w dalszej części publikacji przy identyfikacji materiałów posługiwano się nazwami przedsiębiorstw.

Kształt zastosowanych w badaniach próbek przedstawiono na rysunku 1. Dla każdego gatunku stali wykonano po sześć zestawów próbek i ich uchwytów. Wszystkie elementy zestawów poddawane były zabiegom cieplnym. Temperatura i czas wygrzewania przy hartowaniu wynosiły odpowiednio 860°C i 30 minut. Studzenie wykonywano w wodzie.



Rys. 1. Płytki pomiarowe wykorzystywane podczas badań

Fig. 1. Measuring plates used during tests

Podczas odpuszczania elementy wygrzewano przez 15 minut w temperaturze około 400°C i studzono w powietrzu. Twardość materiału każdej próbki mierzono w czterech miejscach. Przeciętna twardość próbek wykonanych ze stali Lemken wynosiła 49,6 HRC (odchylenie standardowe $s=1,8$ HRC), a stali ZBWTR B. M. Worona - 49,4 HRC ($s=1,1$ HRC). Po utwardzeniu próbki i ich uchwyty w kompletach obustronnie szlifowano, uzyskując chropowatość $Ra=1,27 \mu\text{m}$ (do pomiaru stosowano profilografometr Hommel Tester T-1000).

Próbki umieszczano w sześciu specjalnie wykonanych stanowiskach, mocowanych do korpusów pługa za pomocą przegubowych cięgien. Dzięki takiemu rozwiązaniu, obciążone jedynie masą stanowisk, próbki ślizgały się w czasie pracy pługa po dnach bruzd wyoranych przez poszczególne korpusy. Zmienna liczba ołowianych obciążników, stosowanych w stanowiskach, umożliwiła przeprowadzenie badań przy trzech wartościach nominalnego nacisku próbek na glebę, wynoszących około 5,7, 8,8 i 12,0 kPa.

Po wykonaniu przez próbki określonej drogi tarcia, ustalano ubytek ich masy i grubości, a także mierzono chropowatość powierzchni roboczej. Pomiary masy wykonywano z dokładnością $\pm 0,01$ g, natomiast grubość mierzono w szesnastu równomiernie rozłożonych miejscach próbek, z dokładnością $\pm 0,001$ mm.

W celu ustalenia drogi tarcia próbek, uprawiane w czasie badań pola (o powierzchni od około 22 do 130 ha) dzielono na fragmenty o kształtach zbliżonych do trapezów. Drogę tarcia wyliczano na podstawie ustalonej dla każdego fragmentu liczby przejazdów pługa i średniej długości przejazdu. Przy pomiarach długości skrajnych boków wydzielonych fragmentów pola, na podstawie których wyliczano średnią drogę pracy pługa na danym fragmencie, posługiwano się odbiornikiem pomiarowym GPS Leica GS20.

Podczas ślizgania się próbek po glebie, prowadzono systematyczne pomiary warunków ich pracy. Dla gleby z dna bruzd ustalono jej gatunki (na podstawie map glebowo-rolniczych terenu badań), udział żwiru i skład mechaniczny (dla zbiorczych prób glebowych; odpowiednio metodą sitową i metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego), wilgotność (z warstwy 0-2 cm; metodą suszarkowo-wagową), gęstość objętościową (stosując cylinderki Kopecky'ego o wysokości 5 cm i objętości 100 cm³), zwięzłość (dla warstwy ± 2 cm w odniesieniu do przeciętnej głębokości orki; wykorzystując penetrometr sprężynowy ze stożkiem o średnicy podstawy 19 mm i kącie wierzchołkowym 30°), naprężenia ścinające (stosując ścinarkę obrotową Eijkelkamp z końcówką CL 100 o średnicy 1"), a także zawartość próchnicy (dla zbiorczych prób glebowych; na podstawie, oznaczonej metodą Tiurina, zawartości węgla organicznego) i odczyn (metodą potencjometryczną). W zakresie parametrów eksploatacyjnych mierzono głębokość orki i prędkość ślizgania się próbek (na podstawie czasów przejazdu pługa na zadanej drodze).

Wyniki badań

Wyniki pomiarów określających warunki pracy próbek podano w tabeli 1. Ustalone wartości masowego zużycia i zmiany grubości badanych próbek stali zawiera tabela 2. Dla każdego wariantu pomiarów wykonano dwa powtórzenia, przy czym droga tarcia przy powtórzeniach była różna (od 34,9 do 40,1 km). Stąd w tabeli 2 podano wartości szukaných parametrów przeliczone w stosunku do przyjętej drogi tarcia wynoszącej 45 km. Przyjęto nieco większą wartość przeliczeniowej drogi tarcia w odniesieniu do rzeczywistej w celu większego zróżnicowania parametrów zużycia próbek. Przy obliczeniach założono liniową zależność między drogą tarcia a zużyciem.

Tabela 1. Warunki pracy próbek
Table 1. Working conditions for samples

Wielkość		Ustalona wartość	
Procentowy udział gatunków gleb, na których pracowały próbki [%]		piasek gliniasty mocny pylasty	- około 65
		piasek gliniasty lekki pylasty	- około 35
Przeciętny skład mechaniczny gleby [%]	warstwa orna	piasek (1-0,1 mm)	- 48
		pył gruby (0,1-0,05 mm)	- 25
		pył drobny (0,05-0,02 mm)	- 11
		części spławialne (pon. 0,02 mm)	- 16
Udział żwiru w glebie [%]		4,9 (s=1,4)	
Zawartość próchnicy [%]		1,90 (s=0,20)	
Odczyn gleby		6,3 – 6,4 pH (w KCl) 6,7 – 6,8 pH (w H ₂ O)	
Wilgotność aktualna gleby w warstwie 0-2 cm dna bruzdy [% _{wag}]		10,5 (s=3,2)	
Gęstość objętościowa gleby w warstwie 0-5 cm dna bruzdy [g·cm ⁻³]		1,48 (s=0,09)	
Zwięzłość gleby w warstwie ± 2 cm głębokości pracy pługa [kPa]		2030,5 (s=725,4)	
Napężenia ścinające w warstwie 0-1 cm dna bruzdy [kPa]		22,1 (s=5,2)	
Głębokość robocza pługa [cm]		20,5 (s=3,2)	
Prędkość ślizgania [m·s ⁻¹]		2,13 (s=0,18)	

s-odchylenie standardowe, s-standard deviation

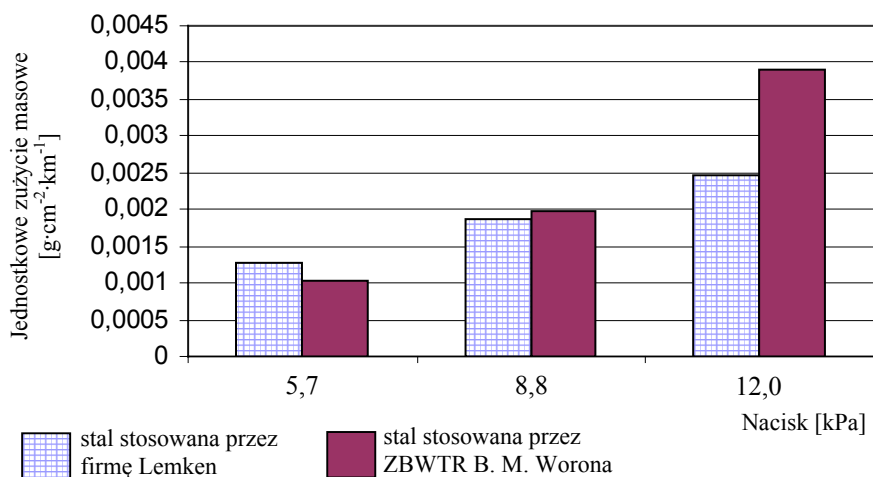
Tabela 2. Bezwzględny ubytek masy i grubości próbek wykonanych z badanych gatunków stali*
Table 2. Absolute loss of mass and thickness of samples made of tested kinds of steel *

Ubytek masy [g]	Ubytek grubości [mm]	Ubytek masy [g]	Ubytek grubości [mm]	Ubytek masy [g]	Ubytek grubości [mm]
przy nacisku nominalnym [kPa]					
5,7		8,8		12,0	
STAL STOSOWANA PRZEZ FIRME LEMKEN					
4,16	0,063	6,04	0,093	8,02	0,125
R=0,57	R=0,006	R=1,58	R=0,018	R=3,19	R=0,048
STAL STOSOWANA PRZEZ ZBWTR B. M. WORONA					
3,39	0,052	6,45	0,104	12,70	0,199
R=0,81	R=0,012	R=1,46	R=0,024	R=5,23	R=0,082

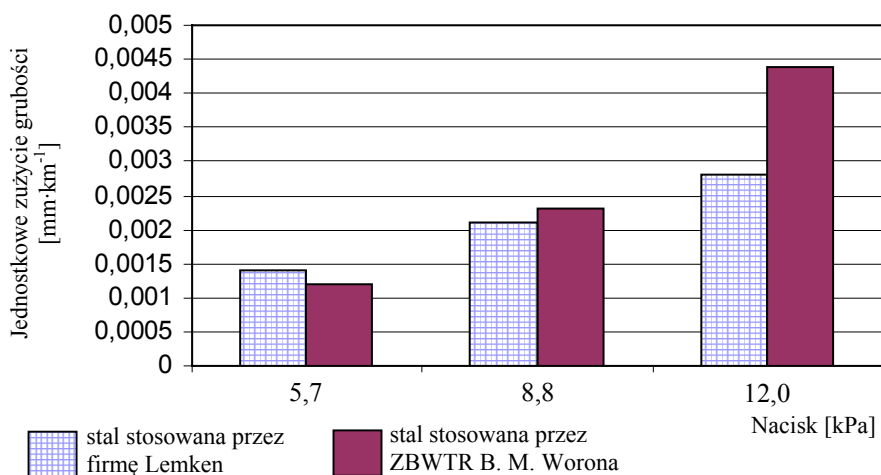
*- ustalone dla przeliczeniowej drogi tarcia wynoszącej 45 km, R - rozstęp

*- settled for countable friction road carrying out 45 km, R - gap

Na podstawie wyników badań zamieszczonych w tabeli 2 ustalono wartości masowego i liniowego zużycia jednostkowego badanych materiałów (rys. 2 i 3).



Rys. 2. Jednostkowe zużycie masowe próbek stali w zależności od nacisku
 Fig. 2. Unitary mass wear of steel samples in dependence from pressure



Rys. 3. Jednostkowe zużycie grubości próbek stali w zależności od nacisku
 Fig. 3. Unitary loss of thickness of steel samples in dependence from pressure

Jednostkowe zużycie masowe wyliczono przez odniesienie bezwzględnego zużycia próbek do ich powierzchni i drogi tarcia. Natomiast jednostkowe zużycie grubości określono przez odniesienie bezwzględnego ubytku grubości próbek do ich drogi tarcia. Proporcje wartości parametrów na wykresach jednostkowego zużycia masowego i jednostkowego zużycia grubości są zbliżone. Jest to zrozumiałe, gdyż ubytek masy próbek jest ściśle po-

wiązany z ubytkiem ich grubości. Wzrost intensywności ścierania badanych gatunków stali wystąpił, co jest oczywiste, wraz ze zwiększeniem nacisku gleby. Stwierdzono, że dla warunków badań, przy ponad dwukrotnym wzroście wartości nacisku, masowe oraz liniowe zużycie jednostkowe uległo 2-krotnemu zwiększeniu w przypadku stali stosowanej przez firmę Lemken oraz około 3,7-krotnemu wzrostowi dla stali ZBWTR B. M. Worona.

Opierając się na wynikach przeprowadzonych badań wyznaczono wartości współczynników K i x występujących w ogólnym modelu zużywania [Zwierzycki 1990]:

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

w którym I_h jest liniową intensywnością zużycia, określoną jako iloraz bezwzględnego ubytku grubości próbki i drogi jej tarcia (wielkość bezwymiarowa), p – nominalnym naciskiem w kPa, a K i x współczynnikami przyjmującymi różne wartości zależnie od właściwości kontaktujących się materiałów i warunków ich pracy. W celu określenia wartości współczynników K i x należy wyznaczyć intensywność zużycia I_h przynajmniej przy dwóch wartościach nacisku nominalnego p . Z otrzymanego układu równań można wyprowadzić poniższe zależności na x i K :

$$x = \frac{\log \frac{I_h(p_i)}{I_h(p_j)}}{\log \frac{p_i}{p_j}}, \quad K = \frac{I_h(p_i)}{p_i^x} \quad \text{i} \quad K = \frac{I_h(p_j)}{p_j^x}, \quad (2), (3) \text{ i } (4)$$

gdzie

$I_{h(p_i)}$ i $I_{h(p_j)}$ oznacza intensywność zużycia dla różnych wartości nacisków p_i i p_j .

Wyliczone na podstawie wyników badań zależności opisujące intensywność liniowego zużycia badanych materiałów w funkcji nacisku (w zakresie stosowanych wartości tego parametru) mają postać:

– dla stali firmy Lemken

$$I_h = 0,27927 \cdot 10^{-9} p^{0,9235}, \quad (5)$$

– dla stali ZBWTR B. M. Worona

$$I_h = 0,04592 \cdot 10^{-9} p^{1,8304}. \quad (6)$$

W przypadku stali firmy Lemken zależność między naciskiem a zużyciem jest niewiele odbiegająca od liniowej. Wskazuje na to bliski jedności wykładnik funkcji potęgowej. Przy stali ZBWTR B. M. Worona wykładnik potęgi jest prawie dwukrotnie większy. Zakłada się, że wykładnikowi potęgi równemu jedności odpowiada zużycie ścierne [Zwierzycki 1990], polegające na mikroskrawaniu lub rysowaniu. Są to zazwyczaj dominujące formy zużycia występujące w glebach o dużym udziale frakcji piasku, ulegające nasileniu w miarę obniżenia twardości ścieranego materiału w stosunku do twardości kwarcu. Powyższe mechanizmy zużycia mogą ulegać modyfikacji w wyniku bruzdowania, zmęczeniowego osłabienia warstwy wierzchniej, czy też w wyniku zużycia mechanochemicznego [Napiórkowski 2005; Stabryła i in. 2006; Zwierzycki 1990]. Można przyjąć, że efektem oddziały-

wania dodatkowych form zużycia jest wzrost wartości wykładnika x w potęgowym modelu, opisanym wzorem (1).

Sugerując się potęgową formą wzoru (1), wynikiem badań w zakresie bezwzględного zużycia masowego i ubytku grubości próbek (tab. 2) przyporządkowano również funkcje potęgowe (Excel). Zależności tych nie zamieszczono, ze względu na małą ich praktyczną użyteczność. Dla funkcji tych uzyskano bliskie jedności wartości współczynników determinacji R^2 (co związane mogło też być z dysponowanymi tylko trzema punktami pomiarowymi przy opisie). Znamienne jest, że wartości wykładników potęg w tych zależnościach zbliżone były do występujących we wzorach (5) i (6). W pewnym stopniu świadczy to o przydatność funkcji potęgowej do opisu zużycia stali, przy jej pracy w glebie.

Ze względu na duży ubytek grubości płytek w stosunku do początkowej wartości parametru R_a , stan powierzchni roboczej płytek po pracy w glebie nie był związany z jej chropowatością początkową. Przeciętna wartość parametru R_a wynosiła $1,05 \mu\text{m}$ ($s=0,17 \mu\text{m}$). Nie stwierdzono różnic chropowatości powierzchni próbek w zależności od rodzaju materiału i wartości nacisku. Zaobserwowano jedynie, że profil powierzchni próbek charakteryzował się względnie dużymi zagłębieniami, przy spłaszczonych generalnie wierzchołkach. Zaobserwowane zagłębienia profilu, których głębokość najczęściej wynosiła $2-4 \mu\text{m}$ (max $6 \mu\text{m}$), odpowiadają przypuszczalnie rysom powstałym na powierzchni próbek w wyniku oddziaływania ziaren piasku lub żwiru.

Podsumowanie

Stwierdzono, że w warunkach badań, przy wzroście nacisku gleby z $5,7$ do $12,0$ kPa jednostkowe zużycie grubości stali stosowanej przez firmę Lemken zwiększyło się z $0,0014$ do $0,0028 \text{ mm}\cdot\text{km}^{-1}$, a stali ZBWTR B. M. Worona – z $0,0012$ do $0,0044 \text{ mm}\cdot\text{km}^{-1}$. W przypadku stali Lemken odpowiada to 2-krotnemu, a stali ZBWTR B. W. Worona – około 3,7-krotnemu wzrostowi intensywności zużycia. Wyniki oceny intensywności ścierania się badanych stali przedstawiono w postaci funkcji potęgowych (wzory 5 i 6), opisujących ich liniową intensywność zużycia występującą w warunkach badań, w zależności od nacisku gleby. Na podstawie wartości wykładników potęg występujących we wzorach (5) i (6) można sądzić, że zużycie stali Lemken następowało w wyniku mikroskrawania lub rysowania, natomiast przy stali ZBWTR B. M. Worona było intensyfikowane dodatkowym czynnikiem.

Zaletą wykonanych badań jest ustalenie intensywności zużycia materiałów w warunkach polowych, typowych przy eksploatacji narzędzi rolniczych. Niekorzystnymi czynnikami występującymi w czasie takich badań jest zmienność warunków ich realizacji oraz ograniczony nadzór nad pracą próbek. Zmienność warunków badań dotyczy zarówno glebowych parametrów, jak i stałości zadanych wartości nacisku próbek na glebę, ze względu na nierówności dna bruzd po powierzchni których się one ślizgają. Należy również zaznaczyć, że w badaniach wskazane byłoby uwzględnienie jeszcze nieco większych wartości nacisku, które niestety ze względów technicznych w przeprowadzonych badaniach były ograniczone.

Bibliografia

- Dobiejewski Z., Pietrasik R.** 1985. Badania zużycia ściernego wybranych gatunków stali. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 156, s. 75-82.
- Kleszczyński A., Lawrowski Z.** 1998. Badania odporności na zużycie ściernie niektórych materiałów. XXII Jesienna Szkoła Tribologiczna pt. *Zużycie tribologiczne – teoria, badania i problemy utylitarne*, Gliwice-Ustroń wrzesień 1998, materiały konferencyjne, s. 109-113.
- 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.** 1993. Wpływ gatunku materiału, sposobu obróbki cieplnej i twardości na trwałość organów roboczych maszyn rolniczych pracujących w glebie, ze szczególnym uwzględnieniem lemieszów do pługów ciągnikowych. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych nr 2, s. 22-35.
- Łabęcki M., Gościański M., Kapcińska D., Pirowski Z.** 2007. Badania tribologiczne, wytrzymałościowe i strukturalne wybranych materiałów stosowanych na elementy maszyn rolniczych pracujące w glebie. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 52 (2), s. 43-51.
- Napórkowski J.** 2005. Zużyciowe oddziaływanie gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych (rozprawa habilitacyjna). *Inżynieria Rolnicza*. Nr 12(72).
- Owsiak Z.** 1987. Zużycie ściernie elementów pracujących w glebie. Część I. Metodyka badań i charakterystyka stanowiska badawczego. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 164, s. 75-81.
- Owsiak Z.** 1998. Narzędzia skrawające glebę. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Wrocław 1998.
- Owsiak Z.** 2000. Zużycie i metody zwiększania trwałości narzędzi rolniczych pracujących w glebie. *Inżynieria Rolnicza* nr 6 (17), s. 31-38.
- Sewierniew M.** (red.) 1972. Iznos detali selskochozajstwiennych maszyn. Kołos, Leningrad.
- Sienko J., Szydło Z.** 1999. Odporność ściernie korozyjna stali z zawartością boru. XXIII Jesienna Szkoła Tribologiczna pt. *Kształtowanie tribologicznych właściwości węzłów tarcia, teoria i praktyka*, Zielona Góra-Lubiatów 21-24 wrzesień 1999, materiały konferencyjne, s. 191-195.
- Stabryła J., Starczewski L.** 2006. Oddziaływanie wodoronoiennych składników gleby na zużycie ściernie narzędzi rolniczych. *Problemy Eksploatacji* nr 1. s. 199-207.
- Zwierzycki W.** (red.) 1990. Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach maszyn. PWN. Warszawa-Poznań.

FIELD INVESTIGATIONS OF WEAR OF CHOSEN KINDS OF STEEL

Abstract. Estimation of wear intensity of two kinds of steel used by manufacturers of agricultural equipment to production of elements working in soil was conducted in field conditions. Tests were executed on sandy soils having moisture ca 10.5 %. Linear as well as mass unitary intensity of wearing of these steels at three values of pressure of soil was stated. The values of coefficients occurrent in the power model of wear were also established.

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

Adres do korespondencji:

Piotr Kostencki
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI 1
71-459 Szczecin