

Piotr KOSTENCKI*, **Beata ŁĘTKOWSKA****,
Rafał NOWOWIEJSKI*

POLOWE BADANIA ODPORNOŚCI NA ZUŻYCIE ŚCIERNE LEMIESZY PŁUŻNYCH WYKONANYCH ZE STALI Z DODATKIEM BORU

FIELD TESTS OF RESISTANCE TO ABRASIVE WEAR OF PLOUGHSHARES MADE OF BORON STEEL

Słowa kluczowe:

lemiesze płużne, trwałość, zużycie, stale z borem

Key words:

ploughshares, durability, wear, boron steel

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań trwałości i zużycia lemieszy płużnych wykonanych z trzech gatunków stali z dodatkiem boru: Hardox 500, B27 oraz stali stosowanej przez firmę Lemken. W trakcie badań wykonywana była orka siewna na glebach piaszczystych. W celu oceny zużycia lemieszy ustalono zmianę ich obrysu, ubytek grubości, szerokość pasma zużycia powstałego na powierzchni przyłożenia, chropowatość powierzchni roboczej oraz ubytek masy.

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych.

** Politechnika Wrocławska, Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, Zakład Materiałoznawstwa.

Stwierdzono porównywalną odporność na zużycie ściernie badanych stali, przy czym między badanymi elementami występowały względnie niewielkie różnice w zużyciu.

WPROWADZENIE

Użytkownicy sprzętu rolniczego oczekują takich rozwiązań konstrukcyjnych elementów roboczych narzędzi pracujących w glebie, które charakteryzują się dużą trwałością i niską ceną. Obecnie większość maszyn i narzędzi rolniczych stosowanych podczas uprawy gleby posiada dobrze spełniające swoją funkcję zabezpieczenia chroniące elementy robocze przed przeciążeniem powstającym z reguły w wyniku uderzenia o osadzone w glebie kamienie. Stąd najczęstszą przyczyną stanu granicznego zużycia elementów jest zmiana geometrii wywołana zużyciem ściernym zachodzącym podczas ich pracy w masie ścierniej, jaką stanowi gleba [L. 18]. Elementami ulegającymi względnie szybkiemu zużyciu z uwagi na przenoszone duże obciążenia i skrawający sposób oddziaływania na glebę są lemiesz płużne [L. 14, 18]. Trwałość łemiesz płużnych i innych elementów roboczych narzędzi rolniczych pracujących w glebie oraz przebieg procesu ich zużycia zależy od wielu czynników, które można zakwalifikować do dwóch grup. Jedną stanowią czynniki determinujące warunki pracy elementów. Są to czynniki glebowe, na które użytkownicy sprzętu rolniczego nie mają wpływu, oraz czynniki eksploatacyjne [L. 13, 14]. Druga grupa czynników obejmuje cechy konstrukcyjne elementów roboczych, a więc ich kształt, odporność na zużycie ściernie zastosowanego materiału i formę ewentualnego wzmocnienia. Na intensywność zużycia łemiesz wpływ ma również sposób zamocowania korpusów płużnych [L. 5, 19]. Geometria elementów wynika z ich funkcji, a więc przewidzianego sposobu oddziaływania na glebę, z czym wiąże się niewielka swoboda modyfikacji kształtu elementów w celu zwiększenia ich trwałości. Istnieje natomiast możliwość konstrukcyjnego dzielenia elementów roboczych na oddzielne części z uwzględnieniem stref o różnej intensywności zużycia się. Niestety takie rozwiązania mogą powodować znaczny wzrost złożoności nie tylko elementów roboczych, ale też elementów ich obsady, negatywnie wpływający na aspekt ekonomiczny. Obecnie najczęstszą formą wzmocnienia elementów realizowaną w procesie produkcyjnym jest ich napawanie twardymi stopami w obszarach podlegających intensywnemu zużyciu ściernemu [L. 11, 13, 15]. Prawdłowo wykonana napoina, tzn. o właściwie dobranym materiale i strefie napawania, powinna przyczynić się do wzrostu trwałości elementów. Jednak ten zabieg technologiczny również wpływa na wzrost kosztów wytwarzania elementów. Zatem zwiększenia trwałości elementów roboczych rolniczych narzędzi uprawowych należy poszukiwać w doborze materiału i sposobie jego obróbki cieplnej.

W Polsce przez wiele lat zalecaną stałą na elementy robocze narzędzi rolniczych przeznaczonych do uprawy gleby, w szczególności łemiesz płużnych,

była stal 40GS, którą w latach 80. ubiegłego wieku zastąpiono stalą 38GSA [L. 6, BN-85/0642-48]. Dla lemieszki wykonanych z tej stali prowadzono prace nad zastąpieniem standardowych zabiegów cieplnych obróbką cieplno-plastyczną, poprawiającą właściwości elementów [L. 1, 20]. Poszukiwano również nowych rozwiązań materiałowych na elementy robocze narzędzi uprawowych. Między innymi eksperymentowano z zastosowaniem żeliw ADI, staliwa L30GS, L35GSM i staliwa chromowo-niklowo-molibdenowego [L. 7–10, 16]. Podejmowano również badania dotyczące oceny wpływu hartowania bainitycznego i hartowania powierzchniowego przez naświetlanie laserem na zużycie ściernie wybranych gatunków stali pracujących w glebie [L. 6].

Obecnie na rynku krajowym coraz szerzej dostępne są blachy wykonane z niskostopowych i niskowęglowych stali z borem, określanych przez producentów jako stale odporne na ścieranie. Do stali tych należą między innymi stale Hardox (wytwarzane przez szwedzki koncern hutniczy SSAB Oxelösund) stale B13S, B24, B27 i stale Raex (produkowana przez fińską korporację Rautaruukki), a także stal 28MCB5 (produkowana przez włoską spółkę Zeneri Acciai Company). Według producentów przykładowe zastosowania tych materiałów to: okładziny i zużywalne części maszyn i urządzeń, płyty trudnościeralne, podajniki, leje, elementy robocze maszyn do robót ziemnych, sita i przesiewacze rusztowe, zużywalne części maszyn górniczych, betoniarek i maszyn do obróbki drewna, przenośniki śrubowe, łopatkki wentylatorów, ostrza, łańcuchy, narzędzia itp. Cechą tych stali jest duża drobnoziarnistość struktur martenzytycznych lub pomartenzytycznych, uzyskiwana po obróbce cieplnej, wpływająca na wysoką ich wytrzymałość, udarność i odporność na zużycie ściernie. Właściwości te otrzymywane są w wyniku ściśle dobranej zawartości fosforu oraz siarki. Skład chemiczny stali zróżnicowany jest w zależności od grubości blachy. Uzyskuje się w ten sposób właściwą hartowność materiału, gwarantującą jednorodność struktury blachy. W zależności od producenta i wyrobu blachy dostarczane są w stanie po walcowaniu na gorąco lub dodatkowo po obróbce cieplnej (hartowaniu lub hartowaniu z odpuszczaniem). Stale te mogą być skrawane za pomocą narzędzi wykonanych ze stali szybko tnących lub węglików spiekanych oraz cięte różnymi technikami, gięte i spawane przy zachowaniu określonych wymogów technologicznych [L. 2–4].

W Polsce omawiane materiały wykorzystywane są już przez niektórych producentów sprzętu rolniczego jako materiał bazowy do wytwarzania elementów pracujących w glebie, w szczególności przy produkcji lemieszki płużnych. Jednak właściwości tych materiałów są w małym stopniu zbadane, szczególnie w odniesieniu do konkretnych zastosowań [4]. Stąd celem badań było określenie trwałości i zużycia lemieszki płużnych wykonanych z wybranych gatunków stali z borem podczas ich pracy w standardowych warunkach eksploatacyjnych.

OBIEKTY, WARUNKI I METODYKA BADAŃ

W badaniach zastosowano lemiesz wykonane ze stali Hardox 500 (2 szt.), stali B27 (3 szt.) oraz dla celów porównawczych lemiesz firmy Lemken (3 szt.). Gatunki stali, z których zostały wykonane elementy, zakwalifikować można do niskostopowych i niskowęglowych stali z borem. Skład chemiczny stali Hardox 500 i stali B27 podano w **Tabeli 1**. Natomiast składu chemicznego stali stosowanej w przedsiębiorstwie Lemken nie przedstawiono, kierując się zauważalną strategią firmy, która w żadnych materiałach o swoich wyrobach nie podaje szczegółowych informacji dotyczących stosowanych materiałów.

Tabela 1. Skład chemiczny stali Hardox 500 i B27

Table 1. Chemical composition of Hardox 500 and B27 steel

Oznaczenie składników	Zawartość poszczególnych składników w stali, %					
	Hardox 500			B27		
	dane producenta ¹⁾		dane producenta ²⁾	metoda spektralna ³⁾	metoda gravimetryczna ³⁾	dane producenta ⁴⁾
	grubość blachy			grubość blachy		analiza odlewu
10 mm	12 mm	4–13 mm	10 mm			
C	0,25	0,25	max 0,27	0,230	0,230	0,27
Si	0,25	0,26	max 0,70	0,270	0,200	0,25
Mn	0,71	0,72	max 1,60	1,330	1,200	1,20
Cr	0,61	0,60	max 1,00	0,370	0,330	0,30
Ni	0,04	0,04	max 0,25	0,060	0,100	<i>b.d.</i>
Mo	0,021	0,019	max 0,25	0,008	<i>b.m.p.</i>	-
B	0,002	0,001	max 0,004	0,001	<i>b.m.p.</i>	0,002
V	<i>b.d.</i>			0,016	<i>n.ś.</i>	<i>b.d.</i>
W	<i>b.d.</i>			0,007	<i>n.ś.</i>	<i>b.d.</i>
Cu	<i>b.d.</i>			0,040	<i>n.ś.</i>	<i>b.d.</i>
Al	<i>b.d.</i>			0,030	<i>n.ś.</i>	<i>b.d.</i>
Ti	<i>b.d.</i>			0,040	<i>n.ś.</i>	<i>b.d.</i>
Co	<i>b.d.</i>			0,040	<i>b.m.p.</i>	<i>b.d.</i>
Nb	<i>b.d.</i>			0,013	<i>b.m.p.</i>	<i>b.d.</i>
P	0,008	0,006	max 0,025	0,009	0,018	<i>b.d.</i>
S	0,002	0,001	max 0,010	0,009	0,015	<i>b.d.</i>

¹⁾ – dane według atestów dostarczonych przez polskiego dystrybutora stali, ²⁾ – dane z materiałów informacyjnych firmy SSAB [2], ³⁾ – skład chemiczny ustalony we własnym zakresie, ⁴⁾ – dane z materiałów informacyjnych firmy Ruukki [L. 3],

b.d. – brak danych, *b.m.p.* – brak możliwości pomiaru, *n.ś.* – nikiel ślady

Blachy ze stali Hardox 500 dostarczane są w stanie po obróbce cieplnej. Zgodnie z danymi producenta stal ta charakteryzuje się twardością w granicach 470÷540 HBW (dla zakresu grubości blachy 4÷32 mm), granicą plastyczności $R_{0,2} = 1300$ MPa, wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1550$ MPa, wydłużeniem względnym $A_5 = 10$ % i udarnością $KV_{40} = 30$ J [2]. Natomiast blachy wykonane ze stali B27 dostarczane są w stanie po walcowaniu na gorąco (struktura ferrytyczno-perlityczna) i przeznaczone są do obróbki cieplnej. Według danych producenta typowe właściwości mechaniczne uzyskiwane po hartowaniu stali B27 w oleju wynoszą: twardość 380 HBW, granica plastyczności $R_e = 1000$ MPa, wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 1250$ MPa, wydłużenie $A_5 = 8$ %, a po hartowaniu w wodzie: 460 HBW, $R_e = 1200$ MPa, $R_m = 1600$ MPa, $A_5 = 6$ %, $KV_{40} = 20$ J [3].

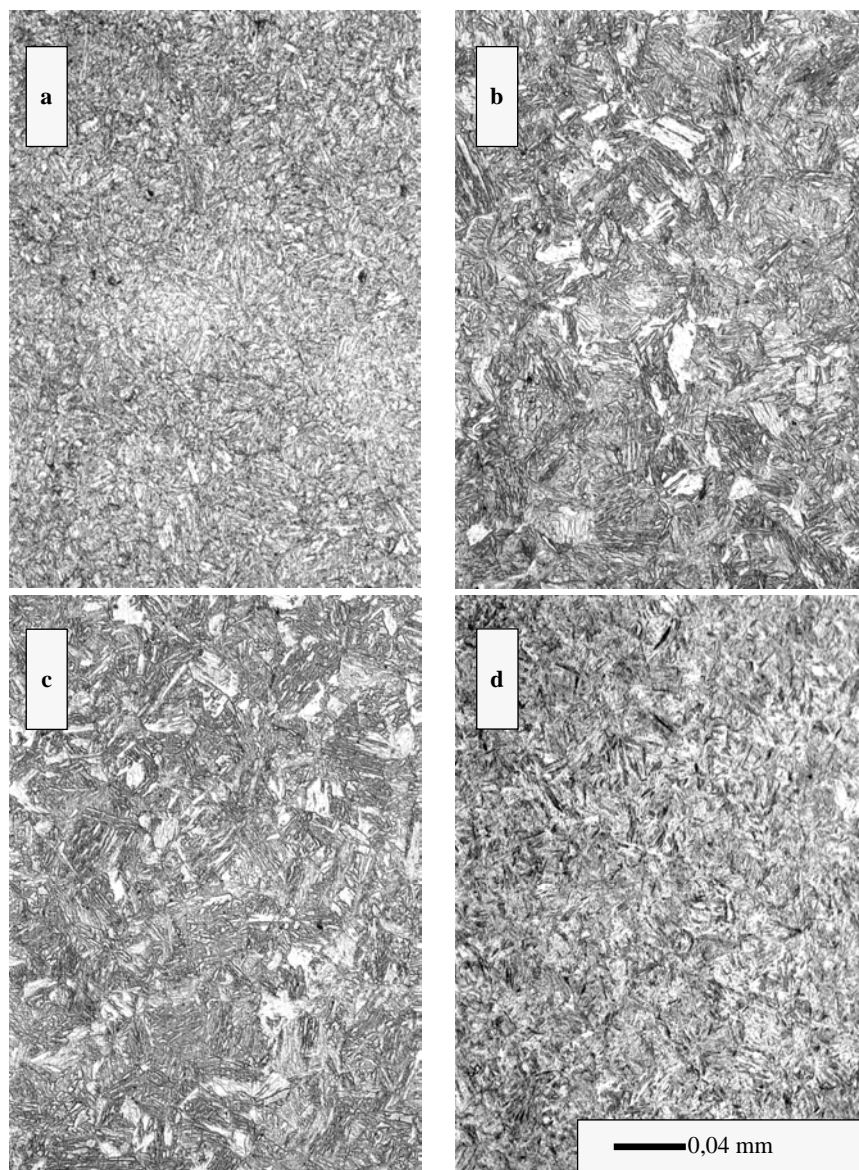
Masę i podstawowe wymiary testowanych elementów podano w **Tabeli 2**. Lemiesze ze stali Hardox 500 wykonane zostały (według dostarczonych rysunków) przez polskiego dystrybutora stali Hardox, tj. przedsiębiorstwo Stal-Hurt z Marciszowa. Natomiast lemiesze wykonane ze stali B27 pochodziły z przedsiębiorstwa Unirol (oznaczenie: dziób – B2SP, część trapezowa – SB45P). Elementy te formowano metodą odkuwania i były one przez producenta hartowane w wodzie. Według danych firmy Ruukki temperatura austenizacji stali B27 wynosi 910÷930°C [3]. Jeden z lemieszy we własnym zakresie poddano odpuszczaniu (temperatura i czas wygrzewania - 200°C i 2 godziny, studzenie na powietrzu). Jak już zaznaczono, do celów porównawczych użyte zostały lemiesze przedsiębiorstwa Lemken – dzioby i części trapezowe o oznaczeniu odpowiednio 336 4050 i 335 2030 (dwa komplety) oraz 336 4051 i 335 2131 (jeden komplet). Geometria dziobów 336 4050 i 336 4051 jest taka sama, przy czym ostatni przeznaczony jest do stosowania przy korpusach na lewo odkładających glebę. Natomiast części trapezowe 335 2030 i 336 4051 (ostatnie przeznaczone są również do korpusów na lewo odkładających glebę) mają różne wymiary (**Tab. 2**). Najistotniejsze różnice dotyczą grubości blachy, z której zostały wykonane (odpowiednio 10 i 11 mm) oraz sposobu zaostrenia (części 335 2030 fazowane są na dużej szerokości, wynoszącej około 75 mm, a elementy 336 4051 na szerokości około 40 mm). Grubość elementów wykonanych z cieńszej blachy jest zatem w dużym zakresie zmniejszona przez szerokie fazowanie. Części trapezowe o tak różniącej się geometrii zastosowano w celu oceny wpływu grubości elementów na ich trwałość i zużycie, co było dodatkowym zamierzeniem badań.

Tabela 2. Ważniejsze wymiary lemieszki stosowanych w badaniach i ich masa
 Table 2. More important dimensions of ploughshares used in research and their mass

Oznaczenie wymiaru										
<p style="text-align: right;">a – grubość ostrza elementu</p>										
Wartości, mm										
Materiał lemieszki	DZIOBY					CZĘŚCI TRAPEZOWE				W ₁₀
	W ₁	W ₂	W ₃	W _{4/a}	W _{5/a}	W ₆	W ₇	W ₈	W _{9/a}	
stal Hardox 500	100	350	12	29 / 3	28 / 3	515	155	10	28 / 3	663
stal B27	103	324	12	22 / 5,5	27 / 5,5	500	150	10	33 / 4	657
stal stosowana w przedsiębiorstwie Lemken	99	345	- ¹⁾	29 / 3	29 / 3	o oznaczeniu 335 2030				647
						493	145	10	75 / 3	
						o oznaczeniu 335 2131				650
505	150	11	40 / 4 ²⁾							
Masa, g										
Materiał lemieszki	DZIOBY					CZĘŚCI TRAPEZOWE				
stal Hardox 500	2039					4522				
stal B27	2105					4366				
stal stosowana w przedsiębiorstwie Lemken	1804					o grubości 10 mm - 3587 o grubości 11 mm - 4660				

¹⁾ – element odkuwany o zmiennej grubości (od około 9 do 15 mm – maksymalna grubość występuje przy krawędzi polowej, w okolicy połowy jej długości), ²⁾ – element zaokrąglony od strony powierzchni roboczej

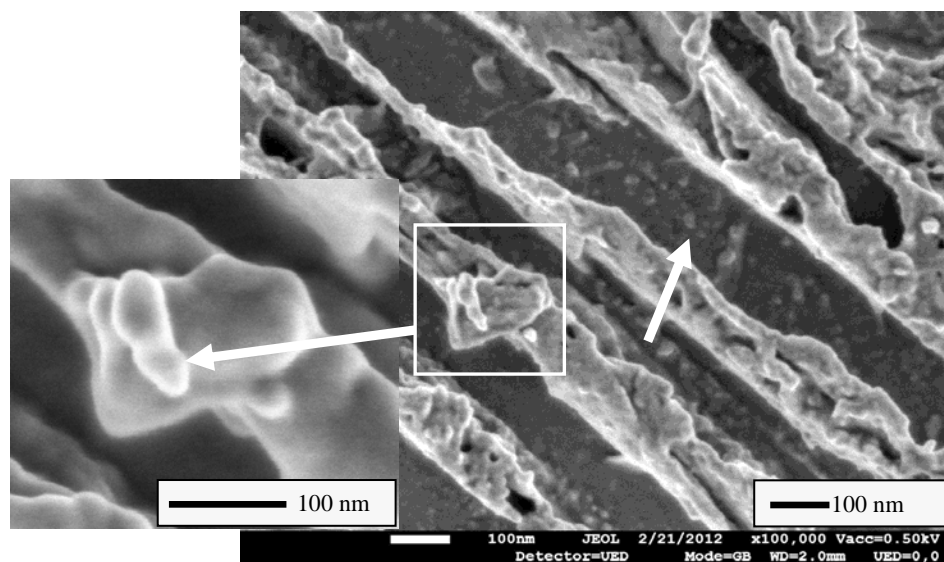
Na **Rysunku 1** przedstawiono zdjęcia mikrostruktur stali stosowanych na badane elementy. Do wytrawienia próbek wykorzystano odczynniki chemiczne przeznaczone do stali niskostopowej i niestopowej (PN-61/H-04503). Obserwacje mikrostruktury prowadzono za pomocą mikroskopu świetlnego Neophot 32, a rejestrację obrazów wykonano sprzężoną z mikroskopem kamerą cyfrową Visitron Systems z zastosowaniem oprogramowania Spot Advanced. Badania przeprowadzono w Zakładzie Materiałoznawstwa Instytutu Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej. Stwierdzono, że stal Hardox 500 charakteryzuje się strukturą pomartenzyczną o dużej jednorodności.



Rys. 1. Zdjęcia mikrostruktur badanych stali (trawiono $Mi1Fe$, mikroskopia świetlna): a – stal Hardox 500 w stanie dostarczenia przez producenta – martenzyt odpuszczania, b – stal B27 po hartowaniu – martenzyt listwowy, c – stal B27 po hartowaniu i odpuszczaniu – martenzyt odpuszczania, d – stal stosowana przez przedsiębiorstwo Lemken – martenzyt listwowy

Fig. 1. Photos of microstructures of the steels under research (etched with $Mi1Fe$, light microscopy): a – Hardox 500 steel delivery state – tempered martensite, b – B27 steel after hardening – martensite, c – B27 steel after hardening and tempering – tempered martensite, d – steel used by Lemken Company – martensite

Struktura ta zbliżona jest do sorbitu odpuszczania (martenzyt wysokoodpuszczany) z wydzieleniami drobnych węglików rozłożonych wewnątrz ziaren martenzytu. W niektórych obszarach widoczne są granice byłego austenitu. Natomiast w wyniku hartowania stali B27 powstaje struktura listwowego martenzytu (typowa dla stali niskowęglowych) wraz z wydzieleniami pojedynczych, drobnych węglików wewnątrz listew martenzytu (**Rys. 2**). Zaobserwowano również występowanie obszarów o budowie bainitycznej. Odpuszczana w temperaturze 200°C stal B27 cechuje się strukturą listwowego martenzytu odpuszczania z wydzieleniami węglików. Wyraźnie zauważalne są granice byłego austenitu i obszary bainityczne. Natomiast mikrostrukturę stali stosowanej przez przedsiębiorstwo Lemken tworzy niskowęglowy martenzyt o budowie listwowej (z względnie licznymi wydzieleniami azotku tytanu). Badane stale charakteryzują się zatem zbliżoną strukturą typu martenzytycznego (niekiedy z obszarami bainitycznymi), przy czym listwy martenzytu w stali Hardox 500 i stosowanej w przedsiębiorstwie Lemken są drobniejsze niż w stali B27.



Rys. 2. Martenzyt hartowania z wydzieleniami węglików, stal B27 po hartowaniu; na fragmencie powiększonym wydzielenie węglika na granicy listew martenzytu (trawiono $MiIF$, elektronowy mikroskop skaningowy firmy JEOL typ JSM-7800F, napięcie przyspieszające 0,5 kV)

Fig. 2. Hardening martensite with released carbide, B27 steel after hardening; on the enlarged fragment release of carbide on the edge of martensite strips (etched with $MiIF$, scanning electron microscope made by JEOL Company type JSM-7800F, accelerating voltage 0,5 kV)

Pomiary trwałości i zużycia lemieszki przeprowadzono w 2012 r. na polach Spółdzielczej Agrofirmy Witkowo podczas orki siewnych wykonywanych pod zasiew rzepaku. Przy pomiarach wykorzystano obracalny, 7-skibowy, półzawieszany pług EuroDiamant firmy Lemken z korpusami o pełnych odkładnicach. Korpusy pługa posiadały automatyczne zabezpieczenia przed przeciążeniem. Badane elementy montowano w zasadzie na korpusach prawostronnie odkładających glebę. Elementy wykonane ze stali Hardox 500 umieszczono na czwartym i piątym korpusie pługa. Natomiast wykonane ze stali B27 i poddane hartowaniu – na pierwszym i drugim, a hartowane i odpuszczane – na szóstym korpusie pługa. Oryginalne lemieszki przedsiębiorstwa Lemken, w których zastosowano części trapezowe wykonane z blachy o grubości 10 mm, zamocowano na trzecim i siódmym korpusie, natomiast lemieszki z częścią trapezową o grubości 11 mm umieszczono na pierwszym korpusie lewostronnie odkładającym glebę. Podczas orki dziób i część trapezowa czwartego korpusu pługa (elementy ze stali Hardox) pracowały w śladzie przejazdu przedniego i tylnego koła ciągnika, a część trapezowa z trzeciego korpusu (element firmy Lemken) – w śladzie przejazdu tylko tylnego koła. W śladzie przejazdu koła podporowego pługa pracował lemieszki firmy Lemken, umieszczony na ostatnim, siódmym korpusie pługa.

W czasie badań uprawiano pola po zbożach, w większości z wykonaną wcześniej uprawą poźniwą. Stan uprawianej gleby oraz parametry orki przedstawiono w **Tabeli 3**. Zgodnie z danymi podanymi na mapach glebowo-rolniczych pług pracował na glebach piaszczystych z dominacją piasku gliniastego mocnego pylastego, piasku gliniastego lekkiego i piasku gliniastego mocnego (**Tab. 3**). W **Tabeli 4** podano przykładowe uziarnienie gleby z obszaru badań, wykonane zgodnie z ustaleniami przyjętymi przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze w 2008 r., a także według klasyfikacji stosowanej do 1976 r., na podstawie której opracowane zostały mapy glebowo-rolnicze. Gleby, z których pobrano próbki, według aktualnej klasyfikacji zaliczyć należy do piasku gliniastego drobnoziarnistego lub gliny drobnopiaszczystej. W uprawianej glebie zawartość żwiru, drobnych i dużych kamieni była mała (**Tab. 3**). Pod względem zakamieniania były to gleby mało kamieniste, które zawierają powyżej 5 do 20 t kamieni na 1 ha (PN-90/R-55003).

Zgodnie z podziałem Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego uprawiano gleby lekko kwaśne i obojętne (odczyn gleb lekko kwaśnych zawiera się w przedziale 5,6÷6,5, a obojętnych 6,6÷7,2 $pH_{(KCl)}$). Powyższy parametr jest o tyle ważny, że stwierdzono intensywniejszy przebieg procesu zużycia ściernego stali w środowisku kwaśnym [**L. 12, 17**], wywołany prawdopodobnie wpływem kruchości wodorowej [**L. 21**]. Wartości gęstości objętościowej, zwężności i naprężeń ścinających były typowe dla stanu gleby po uprawie zbóż, przy charakterystycznej dla okresu letniego obniżonej jej wilgotności. Podczas badań wykonywano orkę o głębokości nieco większej od zazwyczaj podawanego zakresu dla orki siewnych.

Tabela 3. Charakterystyka warunków pracy badanych elementów
 Table 3. Working conditions characteristics of elements under research

Wielkość	Warstwa gleby	Wartość	
Udział poszczególnych gatunków gleb w warstwie ornej pól ^{**)} , %	warstwa orna	pgmp	28
		pgl	26
		pgm	18
		glp	11
		ps	6
		pglp	5
		gl	4
		inne (ż, psp, ilp)	2
Zawartość żwiru w glebie, % _{wag.}		2,6 ^{*)} s = 1,1	
		4,3 ^{**)} s = 1,8	
Zawartość w warstwie ornej małych kamieni (~2–10 cm)		155000 szt·ha⁻¹ s = 100830	
		12,2 t·ha⁻¹ s = 10,6	
Liczba dużych kamieni, powodujących uruchomienie mechanizmów zabezpieczających korpusy pługa, szt·ha ⁻¹		2,1 s = 2,5	
Zawartość próchnicy w glebie, %		1,75 s = 0,31	
Odczyn gleby, pH _{w KCl}		6,10 ÷ 7,15	
Wilgotność aktualna wagowa gleby, %	0 - 10 cm	13,4 s = 1,9	
	10 - 20 cm	13,8 s = 1,7	
	20 - 30 cm	13,5 s = 1,6	
Gęstość objętościowa gleby, g·cm ⁻³	0 - 10 cm	1,42 s = 0,16	
	10 - 20 cm	1,58 s = 0,08	
	20 - 30 cm	1,59 s = 0,08	
Zwięzłość gleby, kPa	0 - 10 cm	812 s = 417	
	10 - 20 cm	1692 s = 543	
	20 - 30 cm	2613 s = 453	
Naprężenia ścinające glebę, kPa	0 - 10 cm	28 s = 16	
	10 - 20 cm	45 s = 16	
	20 - 30 cm	57 s = 13	
Prędkość pracy pługa, m·s ⁻¹		2,49 s=0,07	
Głębokość robocza pługa, cm		23,4 s=2,0	
Szerokość robocza korpusu, cm		46,9 s = 1,4	

pgmp – piasek gliniasty mocny pylasty, pgl – piasek gliniasty lekki, pgm – piasek gliniasty mocny, glp – glina lekka pylasta, ps – piasek słabogliniasty, pglp – piasek gliniasty lekki pylasty, gl – glina lekka, ż – żwir, psp – piasek słabogliniasty pylasty, ilp – il pylasty, ^{*)} wg aktualnych oznaczeń PTG, ^{**)} wg wcześniejszych oznaczeń PTG, s – odchylenie standardowe.

Tabela 4. Uziarnienie gleby z warstwy ornej: a – według ustaleń przyjętych przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze w 2008 r., b – zgodnie z klasyfikacją Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego stosowaną do 1976 r., według której opracowane zostały mapy glebowo-rolnicze

Table 4. Surface soil grading: a – according to the settlements accepted by Polish Soil-science Society (Polskie Towarzystwo Gleboznawcze) in 2008, b – according to the classification of Polish Soil-science Society applied until 1976 according to which soil-agricultural maps were drawn

Numer próbki gleby	Udział poszczególnych frakcji gleby, %										Grupa granulometryczna
	frakcja, mm										
	$2 \geq d > 1$	$1 \geq d > 0,5$	$0,5 \geq d > 0,25$	$0,25 \geq d > 0,1$	$0,1 \geq d > 0,05$	$0,05 \geq d > 0,02$	$0,02 \geq d > 0,002$	$0,02 - 0,005 - 0,002$	$0,005 - 0,002$	$d \leq 0,002$	
1	a b	2,7 –	7,9 8,1	15,1 15,5	33,2 34,2	17,1 18,2	8 8	6 5	11 5	5 5	pgdr pgmp
2	a b	1,5 –	6,2 6,3	11,0 11,2	31,6 32,0	17,7 18,5	14 14	8 5	13 5	5 5	gpdr pgmp
3	a b	1,7 –	6,4 6,5	12,5 12,8	31,1 31,4	19,3 20,3	10 10	9 5	14 5	5 5	gpdr pgmp
4	a b	2,1 –	6,9 7,0	14,1 14,4	28,2 28,9	20,7 21,7	10 10	7 5	12 5	6 6	gpdr pgmp
5	a b	1,9 –	5,6 5,8	12,5 12,7	28,1 28,6	23,9 24,9	10 10	6 5	11 5	7 7	gpdr pgmp
6	a b	0,6 –	1,7 1,8	5,6 5,6	33,7 34,0	39,4 39,6	8 8	4 3	7 3	4 4	pgdr plz

pgdr – piasek gliniasty drobnoziarnisty, gpdr – glina drobnopiaszczysta
pgmp – piasek gliniasty mocny pylasty, plz – pył zwykły

Przy pomiarze powyższych wielkości stosowano następujące metody: uziarnienie gleby i udział żwiru wyznaczono dla zbiorczych prób glebowych odpowiednio metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego oraz metodą sitową; zawartość drobnych kamieni określono, selekcionując je w kolejnych próbach z gleby odpowiadającej 1 m² warstwy ornej, natomiast liczbę dużych kamieni – zliczając zadziałania mechanizmów zabezpieczających korpusy pługa przed przeciążeniem przy uprawie określonej powierzchni pola; zawartość próchnicy ustalono również dla zbiorczych prób glebowych na podstawie zawartości węgla organicznego oznaczonej za pomocą analizatora CHNS firmy Costech; odczyn gleby oznaczano metodą potencjometryczną; wilgotność i gęstość objętościową gleby wyznaczano metodą suszarkowo-wagową, wykorzystując cylinderki Kopecký'ego o objętości 100 cm³; zwięzłość gleby mierzono za pomocą zwięzłościomierza sprężynowego wykonanego przez Instytut Agrofizyki PAN i wyposażonego w stożek o średnicy podstawy 19 mm oraz kącie wierzchołkowym 30°; do określenia wartości naprężeń ścinających glebę wykorzystano ścinarkę obrotową firmy Geonor, typ Vane Tester H-60, zakończoną krzyżakiem o szerokości 20 i wysokości 40 mm; prędkość, szerokość i głębokość orki mierzono zgodnie z wytycznymi podanymi w PN-90/R-55021.

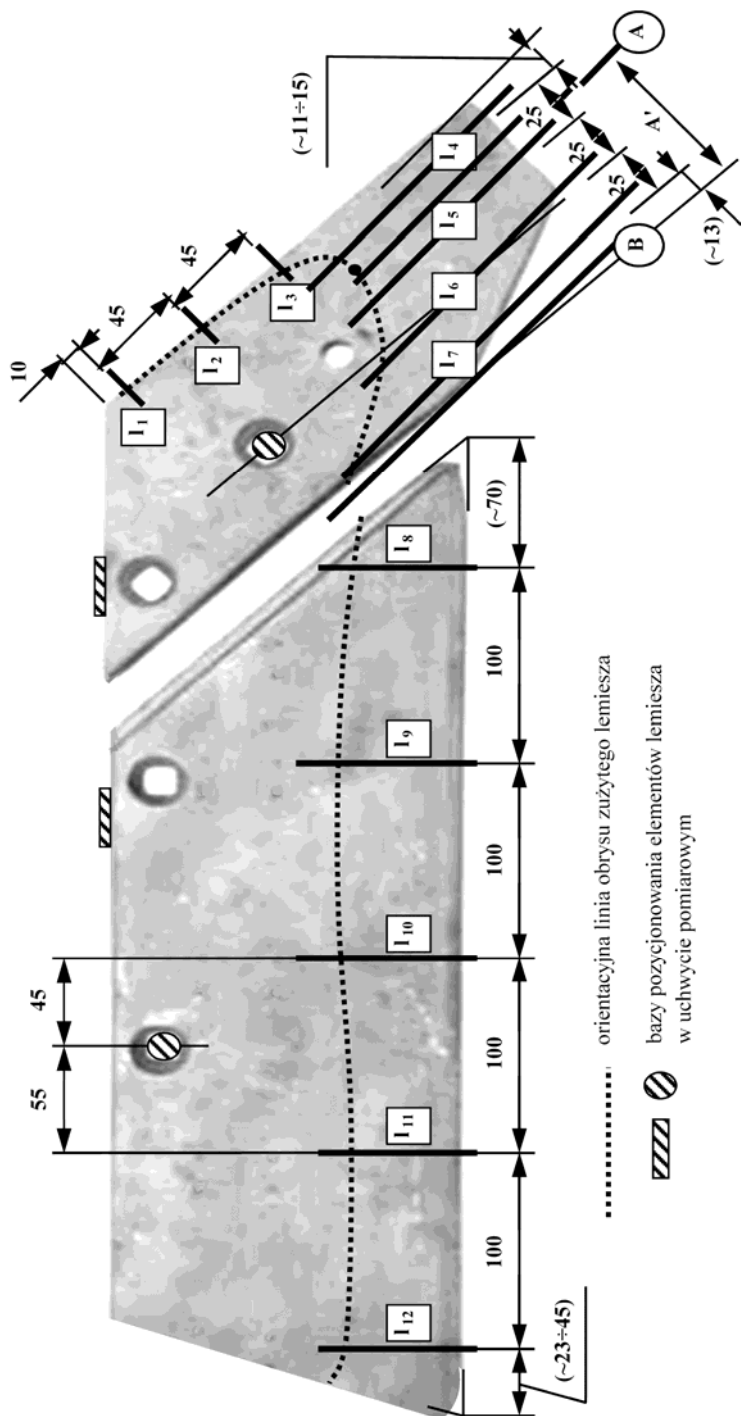
Badania obejmowały ustalenie trwałości testowanych lemiesz i określenie ich zużycia. Zmierzono również parametry charakteryzujące chropowatość powierzchni roboczej dziobów i części trapezowych po ich eksploatacji w glebie.

Jako kryteria demontażu badanych elementów przyjęto trzy potencjalne ich stany uniemożliwiające dalszą eksploatację, a mianowicie:

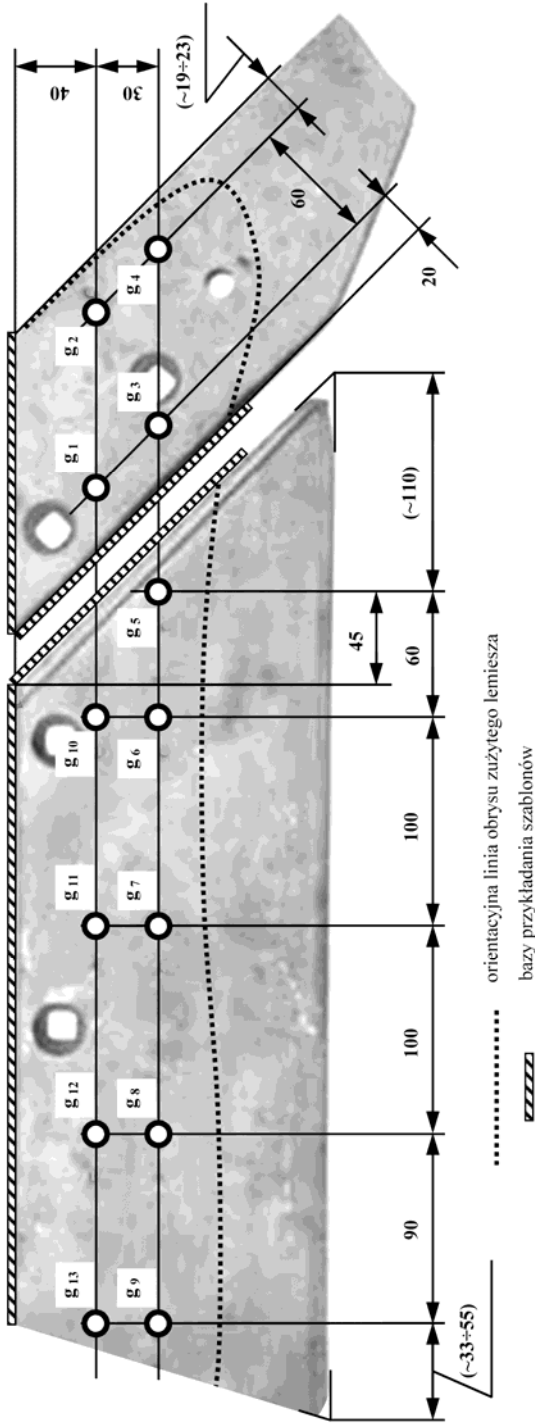
- zmianę obrysu, przy której na ścieranie narażone są elementy obsady,
- zużycie awaryjne (wygięcie lub złamanie),
- powstanie szerokiego pasma zużycia na powierzchni przyłożenia, przy którym poprawne zagłębianie się pługa lub utrzymanie zadanej głębokości pracy jest zaburzone.

Zużycie elementów określono wagowo (z dokładnością $\pm 0,1$ g) oraz stosując pomiary liniowe, za pomocą których ustalono zmianę obrysu, ubytek grubości elementów i szerokość pasma zużycia wytworzonego na ich powierzchni przyłożenia. Miejsca pomiaru zmiany obrysu i ubytku grubości lemiesz przedstawiono na **Rys. 3 i 4**. Szerokość pasma zużycia mierzono za pomocą suwmiarki, prostopadle do krawędzi ostrza lemiesz z uwzględnieniem promienia jego zaokrąglenia (**Rys. 5**). Pomiary te wykonywano w miejscach odpowiadających liniom pomiarowym od l_4 do l_{12} i linii pomiarowej A (**Rys. 3**), w której obrys zużytej części dziobowej lemiesz jest najbardziej wysunięty do przodu.

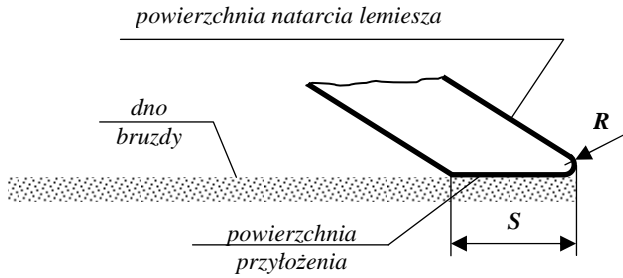
Profil roboczej powierzchni elementów określano za pomocą profilografo-metru Hommel Tester T1000. Dla każdego elementu pomiary wykonywano na dwóch odcinkach pomiarowych o długości 15 mm.



Rys. 3. Miejsca pomiaru zmiany obrysu lemiesza – linie pomiarowe od I₁ do I₁₂ i linie A, B
 Fig. 3. Measuring points of the ploughshare contour change – measuring lines I₁ to I₁₂ and A, B lines



Rys. 4. Miejsca pomiaru zmiany grubości lemieszki – punkty pomiarowe od g₁ do g₁₃
Fig. 4. Measuring points of ploughshare thickness change – measuring points from g₁ to g₁₃

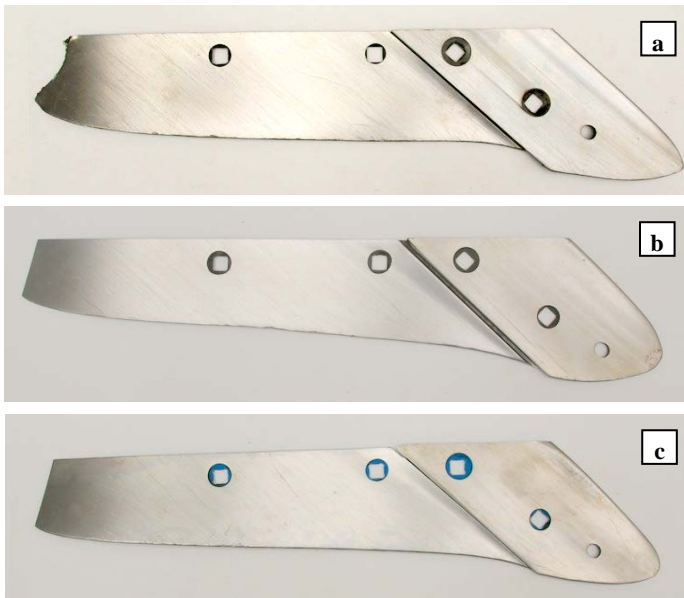


Rys. 5. Sposób pomiaru szerokości pasma zużycia S wytwarzającego się na powierzchni przyłożenia lemiesz; R – promień zaokrąglenia krawędzi ostrza lemiesz

Fig. 5. Measurement method of the width of wear band S formed on the surface of contact of ploughshares; R – rounding radius of the edge of ploughshare blade

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Na **Rysunku 6** przedstawiono przykładowy poeksploatacyjny stan lemiesz. Natomiast w **Tabeli 5** podano powierzchnię uprawionego pola przez badane elementy oraz przyczyny ich demontażu.



Rys. 6. Przykładowy stan lemiesz po eksploatacji: a – lemiesz wykonany ze stali Hardox 500, b – lemiesz wykonany ze stali B27, hartowany, c – lemiesz firmy Lemken, część trapezowa o grubości 10 mm

Fig. 6. Exemplary ploughshare state after exploitation: a – ploughshare made of Hardox 500 steel, b – ploughshare made of B27 steel, hardened, c – ploughshare made by Lemken Company, trapezoidal part thickness 10 mm

Tabela 5. Zaorana przez elementy powierzchnia pola i przyczyny ich demontażu

Table 5. Ploughed elements of the field surface and the cause of their dismantling

Element	Uprawiona powierzchnia, ha/element	Przyczyna demontażu elementów	Orientacyjny zapas długości lub szerokości elementów, cm
DZIOBY wykonane ze stali:			
Hardox 500	5,57	nieznaczne wygięcie do przodu czubków dziobów i wywołane tym ścieranie się nakrętek śrub mocujących elementy	4,0 i 5,0
B27, hartowane	7,36	trudności z zagłębianiem się korpusów pługa	0,5 i 1,0
B27, hartowane i odpuszczane			1,5
stosowanej w przedsiębiorstwie Lemken, współpracujące z częścią trapezową o grubości początkowej: 10 mm 11 mm			2,0 i 2,5 0,5
CZĘŚCI TRAPEZOWE wykonane ze stali:			
Hardox 500	24,00	ścieranie się nakrętek śrub mocujących elementy, wywołane ubytkiem ich szerokości w obszarze linii pomiarowych $l_8 \div l_{10}$	0,8 i 1,0
B27, hartowane			brak zapasu
B27, hartowane i odpuszczane			brak zapasu
stosowanej w przedsiębiorstwie Lemken, o grubości początkowej: 10 mm 11 mm			1,0 i brak zapasu 0,8

Powodem demontażu części dziobowych była trudność z zagłębianiem się korpusów pługa, stąd elementy te posiadały pewien „zapas” długości, który w dogodniejszych warunkach orki umożliwiałby dalszą ich pracę (**Tab. 5**). Nie dotyczy to dziobów wykonanych ze stali Hardox 500, które z powodu wygięcia zostały najwcześniej wycofane z eksploatacji. Nietypowe wygięcie dziobów do przodu, przebiegające w linii dolnego otworu montażowego, związane było prawdopodobnie z nagraniem stali w okolicy otworu, powstałym przy jego wykonywaniu. Wpływ nagrzania dziobów ujawniono dopiero przy pomiarze twardości materiału lemieszki, który wykonano po pracy elementów w glebie. Twardość każdego elementu mierzono na powierzchni natarcia, ośmiokrotnie, a **Tabela 6** zawiera wartości średnie z tych pomiarów. W **Tabeli 6** dla elemen-

tów wykonanych ze stali Hardox 500 podano oddzielnie twardość dziobów i części trapezowych, ze względu na duże różnice w wartości parametru. W przypadku pozostałych materiałów twardość części dziobowej i trapezowej była zbliżona. Niższa twardość dziobów wykonanych ze stali Hardox 500 w porównaniu z częściami trapezowymi wskazuje na odpuszczenie stali w przypadku dziobów. Dodatkowo ustalono, że twardość materiału dziobów w okolicy otworów montażowych wynosiła tylko około 23 HRC, a przy samym otworze była jeszcze mniejsza, często nie do określenia w skali HRC. Wygięcie dziobów osłabionych przez odpuszczenie materiału nastąpić mogło w wyniku cyklicznych uderzeń o glebę przy zagłębianiu pługa, czemu sprzyjało zmniejszenie grubości elementów spowodowane procesem zużywania ściernego. Zaobserwowano, że w trakcie orki powstała szczelina między dziobami a częściami trapezowymi ulega zapychaniu przez różne elementy znajdujące się w glebie (druz, sznurki itp.), działające rozpierająco i wpływające zapewne na energochłonność pracy pługa.

Tabela 6. Twardość badanych elementów

Table 6. Hardness of the elements under investigation

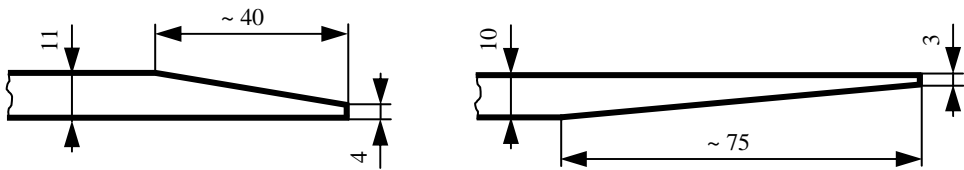
Twardość badanych elementów, HRC			
Elementy wykonane ze stali			
Hardox 500 w stanie dostarczenia	B27, hartowane	B27, hartowane i odpuszczane	stosowanej w przedsiębiorstwie Lemken
dzioby 37,4 s=3,9 części trapezowe 47,0 s=1,3	46,7 s=1,2	46,5 s=1,3	50,0 s=1,2

s – odchylenie standardowe

Powyższe wskazuje na konieczność zachowania dużej ostrożności przy stosowaniu termicznych zabiegów technologicznych (cięcie, wypalanie otworów itp.) w procesie kształtowania blach wykonanych ze stali Hardox. Zwłaszcza przy wytwarzaniu elementów o małych gabarytach wskazane byłoby stosowanie technik beztemperaturowych.

W gospodarstwie, w którym realizowano badania, nie jest stosowane indywidualne traktowanie elementów. Po osiągnięciu przez niektóre z nich stanu granicznego zużycia demontowane są wszystkie elementy zużyte granicznie oraz prawie zużyte i na korpusy pługa zakładane są nowe. Stąd w przypadku zdemontowanych części trapezowych kilka miało jeszcze nieznaczny „zapas” szerokości do ich dalszej eksploatacji, zawierający się w zakresie 0,8÷1,0 cm (**Tab. 5**). Powierzchnia pola, jaka w warunkach badań została uprawiona przez części trapezowe była około 3,3-krotnie większa od powierzchni uprawy dzio-

bów. Przy tak znacznej różnicy w tempie zużywania się dziobów i części trapezowych wyraźnie uzasadniona jest idea wytwarzania i stosowania lemieszki dzielonych. Należy również zwrócić uwagę na to, że oba warianty części trapezowych przedsiębiorstwa Lemken, tj. elementy o grubości wyjściowej wynoszącej 10 i 11 mm, uprawiły taką samą powierzchnię pola, przy czym elementy wykonane z blachy o grubości 10 mm były jeszcze dodatkowo na dużej szerokości fazowane (**Rys. 7**).



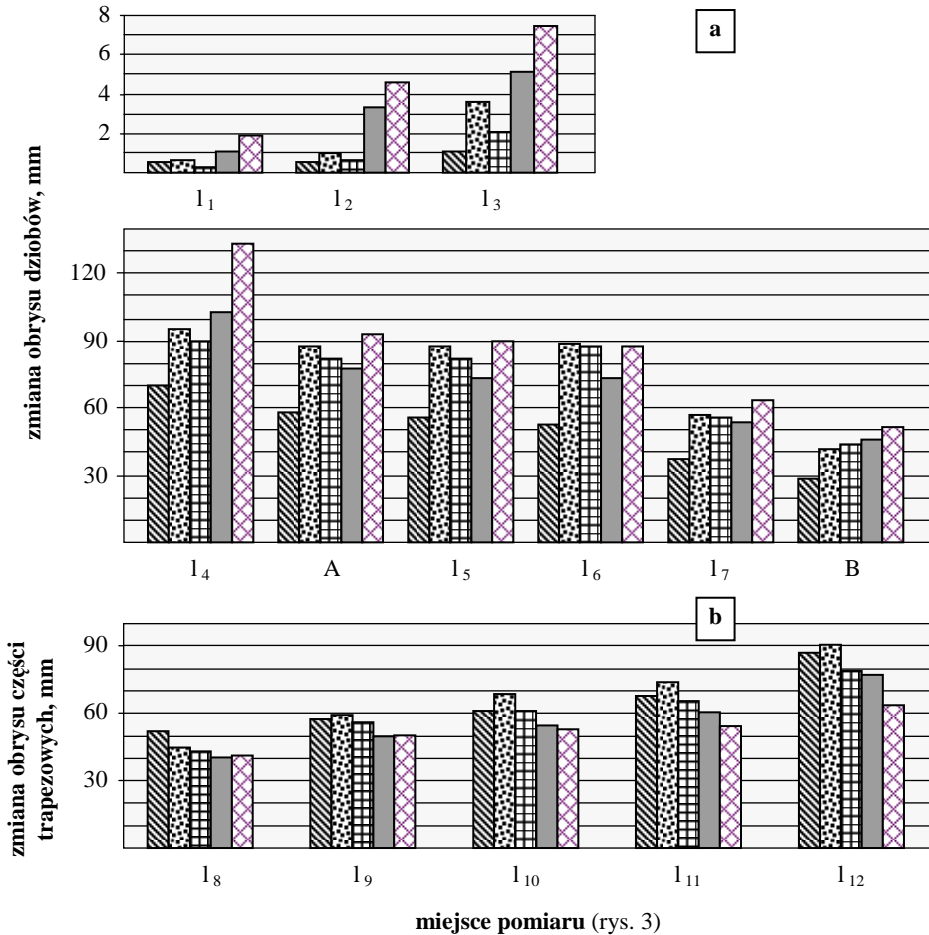
Rys. 7. Grubość części trapezoidalnych przedsiębiorstwa Lemken i ich ostrzenie

Fig. 7. Thickness of the trapezoidal parts produced by Lemken Company and their sharpening

Na **Rysunku 8** przedstawiono wyniki pomiaru zmiany obrysu elementów. W liniach pomiarowych dotyczących zużycia dziobów od strony krawędzi polowej, tj. w liniach l_1 , l_2 i l_3 , najsilniejszemu starciu uległy dzioby wykonane ze stal stosowanej w przedsiębiorstwie Lemken. Spowodowane to było zapewne ich geometrią, gdyż posiadają one od strony krawędzi polowej podcięcie, które nie występuje w pozostałych dziobach. Największa zmiana obrysu dziobów, mierzona od strony ich ostrza (powierzchni przyłożenia), wystąpiła w linii pomiarowej l_4 (szczególnie w przypadku dziobu firmy Lemken współpracującego z częścią trapezową o grubości 11 mm). Mniejsze wartości zużycia występujące przy dziobach wykonanych ze stali Hardox 500 wynikają z krótszego czasu ich eksploatacji.

Najmniejszą zmianą obrysu cechował się obszar dziobów przyległy do części trapezowych. Należy dodać, że w stosowanych miejscach pomiarowych (poza linią B) zużycie hartowanych i odpuszczanych dziobów wykonanych ze stali B27 było nieznacznie mniejsze niż dziobów wykonanych z tej samej stali i tylko hartowanych (przeciętnie około 1,04-krotnie).

W warunkach badań najmniejsza zmiana obrysu części trapezowych wystąpiła w obszarze przyległym do dziobów. Następnie w kolejnych miejscach pomiarowych wartość zużycia sukcesywnie rosła, osiągając wartość największą w linii pomiarowej l_{12} leżącej przy końcu elementów (**Rys. 8**). Wszystkie części trapezowe uprawiły taką samą powierzchnię pola, stąd ich zużycie w zakresie zmiany obrysu w sposób praktycznie ważny uszeregowuje materiały pod względem odporności na ścieranie, gdyż w standardowych warunkach orki właśnie zmiana obrysu elementów jest typową przyczyną ich granicznego zużycia.



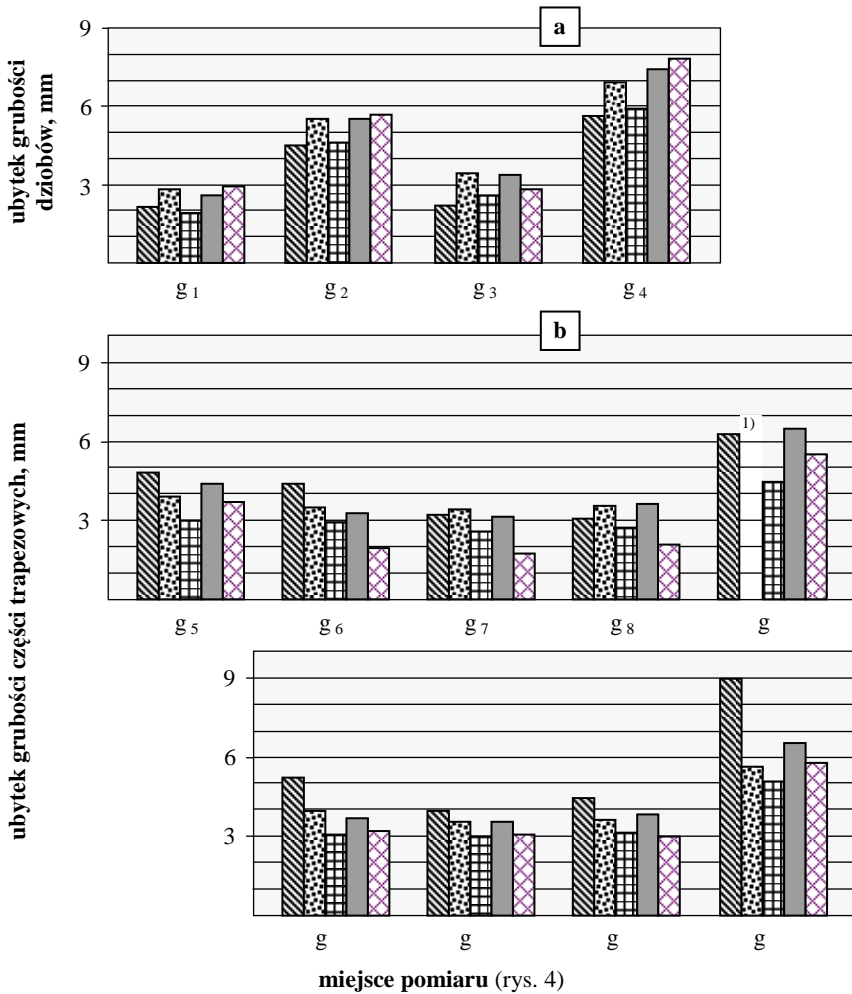
Rys. 8. Zmiana obrysu dziobów (a) i części trapezowych (b) w określonych miejscach pomiarowych

Fig. 8. Change of the share point contour (a) and trapezoidal parts (b) in particular measuring points

Najmniejszą zmianą obrysu cechowały się elementy Lemken, przy czym zużycie części trapezowej o grubości 11 mm było z reguły nieznacznie mniejsze (przeciętnie około 1,07-krotnie) niż elementów o grubości 10 mm i na większej szerokości fazowanych. Natomiast największemu zużyciu uległy w większości linii pomiarowych części trapezowe wykonane ze stali B27 i poddane jedynie hartowaniu. Podobnie jak przy dziobach, zużycie hartowanych i odpuszczanych części trapezowych wykonanych ze stali B27 było mniejsze niż elementów tylko hartowanych (średnio około 1,1-krotnie). Należy jednak zaznaczyć, że generalnie różnice w zmianie obrysu części trapezowych nie były duże. Obrazuje to stosunek wartości zmiany obrysu w poszczególnych liniach pomiarowych elementu ulegającego największemu zużyciu, tj. hartowanej części trapezowej wykonanej ze stali B27 i elementu najsilniejszego o takiej samej grubości początkowej, tj. części trapezowej o grubości 10 mm firmy Lemken, który mieścił się w zakresie $1,12 \div 1,25$, a przeciętnie wynosił około 1,2.

Na **Rysunku 9** podano wyniki pomiaru zmiany grubości badanych elementów. Największy ubytek grubości dziobów wystąpił w kolejności w miejscach pomiarowych g_4 i g_2 położonych przy krawędzi połowej elementów (**Rys. 4**). Zużycie w tych miejscach było od około 2 do 2,8-krotnie większe niż w miejscach g_1 i g_3 . Wyjaśnić to można wzrostem nacisku gleby w tym obszarze dziobów, związanym z oddzielaniem skiby od calizny pola. Natomiast w przypadku części trapezowych większe wartości zużycia stwierdzono w miejscach położonych w górnej linii pomiarowej (miejsca g_{10} , g_{11} , g_{12} i g_{13} – **Rys. 4**). Ubytek grubości elementów w tych miejscach był od około 1,01 do 1,74 (przeciętnie około 1,24) razy większy w porównaniu ze zużyciem w miejscach zlokalizowanych na dolnej linii pomiarowej (odpowiednio miejsca g_6 , g_7 , g_8 i g_9). Kolejną prawidłowością było wystąpienie zdecydowanie większego ubytku grubości w końcowym obszarze części trapezowych (miejsca g_9 i g_{13}). Ubytek grubości w tych miejscach był średnio około 1,84 razy większy niż w pozostałych. Natomiast najmniejszym ubytkiem grubości cechował się środkowy obszar części trapezowych (miejsca g_7 i g_{11}).

Ustalone różnice w ubytku grubości elementów wykonanych z różnych stali były względnie małe. Przy dziobach z reguły nie przekraczały 1,3 mm (maksymalnie 2,2 mm w miejscu g_4), natomiast przy częściach trapezowych dla miejsc pomiarowych od g_5 do g_{12} mieściły się w zakresie od 0,94 do 2,44 mm, a w miejscu g_{13} wynosiły maksymalnie 3,90 mm. Stalą, która w warunkach badań wykazywała najmniejszy ubytek grubości, była stal B27 poddana hartowaniu i odpuszczaniu, chociaż w kilku miejscach pomiarowych ubytek grubości części trapezowej o grubości 11 mm i wykonanej ze stali stosowanej w przedsiębiorstwie Lemken był mniejszy (miejsca g_6 , g_7 , g_8 i g_{12} – **Rys. 9**). Niemniej ubytek grubości pozostałych elementów wykonanych ze stali stosowanej przez przedsiębiorstwo Lemken był większy niż elementów wykonanych z hartowanej i odpuszczanej stali B27. Podobnie jak przy zmianie obrysu ubytek grubości hartowanej stali B27 był większy niż stali B27 hartowanej



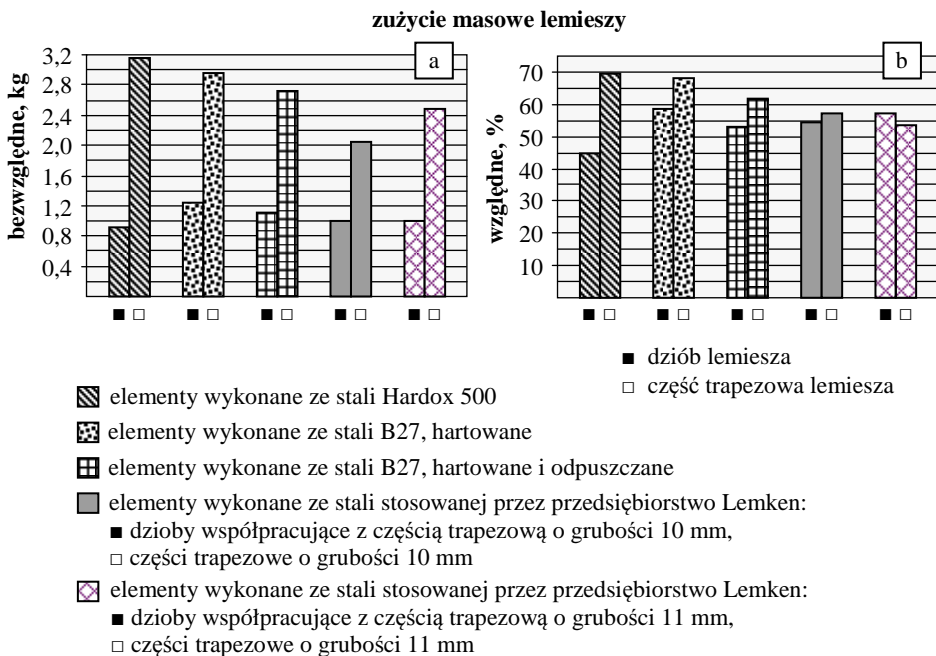
- ▨ elementy wykonane ze stali Hardox 500
- ▩ elementy wykonane ze stali B27, hartowane: ¹⁾ brak wyniku ze względu na ubytek szerokości elementów
- ▧ elementy wykonane ze stali B27, hartowane i odpuszczane
- elementy wykonane ze stali stosowanej przez przedsiębiorstwo Lemken:
 - dzioby współpracujące z częścią trapezową o grubości 10 mm,
 - części trapezowe o grubości 10 mm
- ▨ elementy wykonane ze stali stosowanej przez przedsiębiorstwo Lemken:
 - dzioby współpracujące z częścią trapezową o grubości 11 mm,
 - części trapezowe o grubości 11 mm

Rys. 9. Ubytek grubości dziobów (a) i części trapezowych (b) w określonych miejscach pomiarowych

Fig. 9. Share points thickness loss (a) and trapezoidal parts (b) in particular measuring points

i odpuszczanej (w ramach stosowanych miejsc pomiarowych od około 1,1 do 1,5-krotnie, średnio 1,24-krotnie). Materiałem, który w warunkach badań uległ największemu zużyciu w zakresie ubytku grubości była stal Hardox 500. Świadczy o tym zużycie części trapezowych przedstawione na **Rysunku 9** (mały ubytek grubości dziobów wykonanych ze stali Hardox 500 wynika z krótszego czasu ich eksploatacji). Konsekwencją dużego ubytku grubości części trapezowych wykonanych ze stali Hardox 500 było, widoczne na **Rysunku 6**, ich przetarcie w końcowym obszarze.

Wartości bezwzględnego i względnego zużycia masowego badanych elementów przedstawiono na **Rysunku 10**. Porównywanie odporności na ścieranie elementów na podstawie bezwzględnego zużycia masowego nie jest właściwe, gdy występują między elementami różnice w zakresie początkowego obrysu, grubości, geometrii fazowania (ostrzenia) itp. Stąd informację o wartościach tego parametru zamieszczono jedynie dla celów poglądowych. Natomiast względne zużycie masowe, będące odniesieniem bezwzględnego zużycia masowego do masy początkowej elementu, jest względnym wskaźnikiem ubytku materiału elementu z wszystkich powierzchni tarcia. Najmniejsza wartość tego parametru, występująca przy dziobach wykonanych ze stali Hardox 500, wynika oczywiście z krótszego czasu ich użytkowania niż pozostałych dziobów. W warunkach badań wszystkie elementy osiągnęły dużą wartość względnego zużycia masowego,

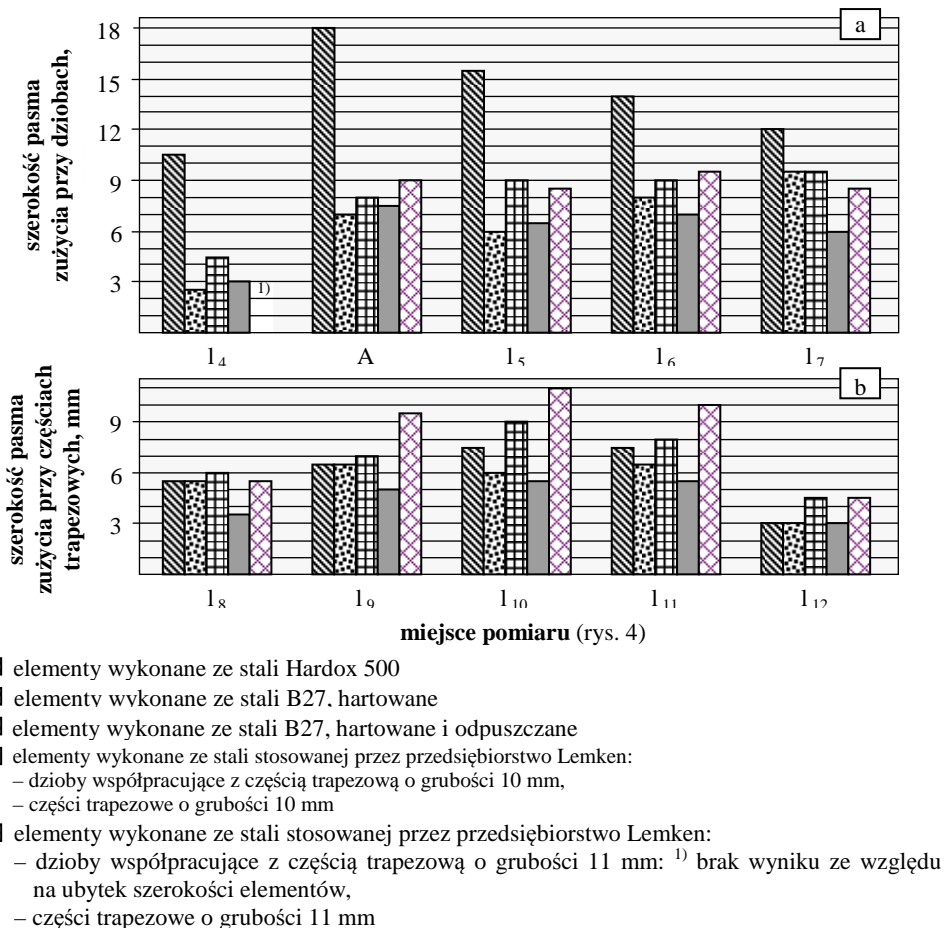


Rys. 10. Bezwzględne (a) i względne (b) zużycie masowe lemiesz

Fig. 10. Absolute (a) and relative (b) mass wear of ploughshares

do czego przyczynił się znaczny ubytek ich grubości. Elementy firmy Lemken oraz elementy wykonane z hartowanej i odpuszczanej stali B27 cechowały się, w odniesieniu do elementów wykonanych z pozostałych materiałów, nieznacznie mniejszą wartością względnego zużycia masowego ze względu na nieco mniejszą zmianę obrysu lub mniejszy ubytek grubości (**Rys. 8 i 9**).

Z kolei na **Rysunku 11** przedstawiono wartości szerokości pasma zużycia wytworzonego na powierzchni przyłożenia elementów. Jak wcześniej już podano, duża wartość tego parametru może powodować pogorszenie agrotechnicznej jakości orki, gdyż szerokie pasmo zużycia przy uprawie zwięzłych gleb może być przyczyną wydłużenia drogi zagłębienia się pługa oraz spłykania zadanej głębokości orki.



Rys. 11. Szerokość pasma zużycia wytworzona na powierzchni przyłożenia dziobów (a) i części trapezowych (b) w określonych miejscach pomiarowych

Fig. 11. Width of band strip wear formed on the flank face of share points (a) and trapezoidal parts (b) in particular measuring points

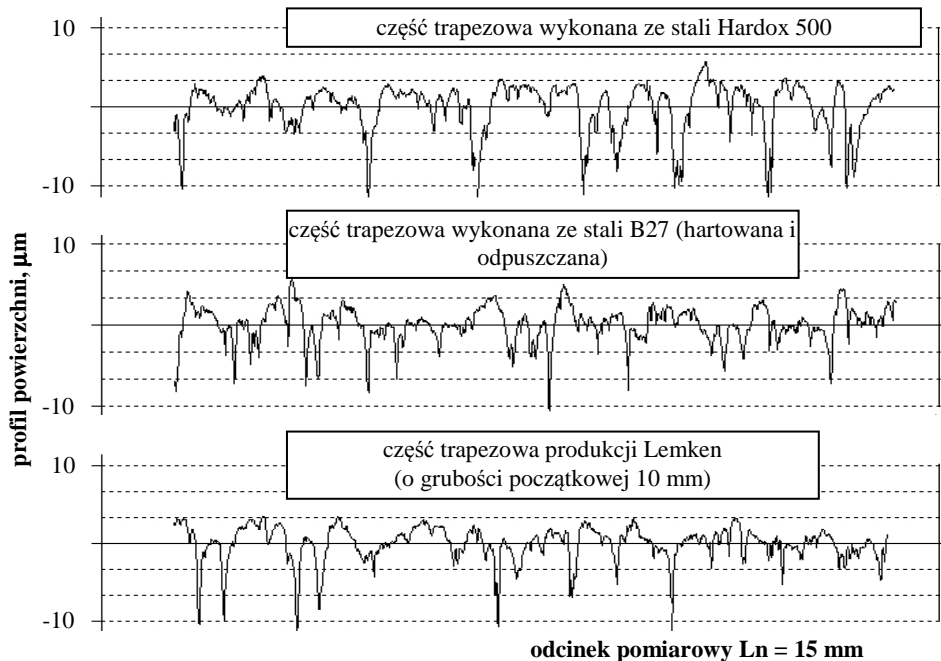
Do bardzo dużych wartości tego parametru występujących przy dziobach wykonanych ze stali Hardox 500 przyczyniło się wygięcie elementów do przodu, o czym pisano już wcześniej. Przy pozostałych dziobach różnice szerokości pasma zużycia ustalone w określonych miejscach pomiarowych były względnie małe, wynosiły od około 0,5 do 3,5 mm. Mała szerokość pasma zużycia występująca przy wszystkich dziobach w linii pomiarowej l_4 wynika z dużego ubytku grubości elementów w tym obszarze (miejsce g_4 – **Rys. 9**).

Natomiast części trapezowe charakteryzowały się mniejszą niż dzioby szerokością pasma zużycia. Przepuszczalnie wynikało to z mniejszej grubości początkowej elementów. Do szerszego pasma zużycia przy części trapezowej firmy Lemken o grubości początkowej 11 mm (linie pomiarowe l_9 , l_{10} i l_{11} – **Rys. 11**) przyczyniła się większa grubość początkowa elementu niż pozostałych części trapezowych i małe wartości ubytku grubości (miejsca g_6 , g_7 i g_8 – **Rys. 9**). Dla pozostałych elementów, których grubość początkowa wynosiła 10 mm, różnice w szerokości pasma zużycia określonego w poszczególnych liniach pomiarowych wynosiły od około 1,5 do 3,5 mm. Przy wszystkich częściach trapezowych pasmo zużycia o większej szerokości ukształtowało się w środkowym obszarze elementów (linie pomiarowe l_9 , l_{10} i l_{11} – **Rys. 11**). Koreluje to z nieco mniejszym ubytkiem grubości elementów w tym obszarze (miejsca g_6 , g_7 i g_8 – **Rys. 9**). Mała szerokość pasma zużycia przy częściach trapezowych firmy Lemken o grubości początkowej 10 mm związana jest z szerokim fazowaniem tych elementów (75 mm), najczęściej szerszym niż wartości zmiany obrysu (**Rys. 8**). Dodatkowo elementy te uległy znacznemu ubytkowi grubości (**Rys. 9**), co też istotnie przyczyniło się do ukształtowania pasma zużycia o małej szerokości.

Na **Rysunku 12** przedstawiono przykładowe profile powierzchni roboczej części trapezowych wykonanych z różnych stali po ich pracy w glebie. Natomiast wartości wybranych parametrów chropowatości charakteryzujących stan powierzchni elementów podano na **Rys. 13**. Profile powierzchni roboczej elementów wykonanych z różnych stali były zbliżone. Charakteryzowały się względnie małymi wzniesieniami w stosunku do zagłębień profilu powierzchni (**Rys. 12**). Wartość średniego arytmetycznego odchylenia profilu chropowatości R_a przy wszystkich dziobach była w miarę zbliżona (od 1,12 do 1,73 μm). To samo dotyczyło części trapezowych (od 1,67 do 2,24 μm) (**Rys. 13**), przy czym wartości parametru R_a przy częściach trapezowych były przeciętnie około 1,4-krotnie większe niż przy dziobach.

Największe wartości wskaźników R_a , R_t , R_v i R_p występujące przy dziobach wykonanych ze stali Hardox 500 tłumaczyć można mniejszą twardością ich materiału niż pozostałych dziobów.

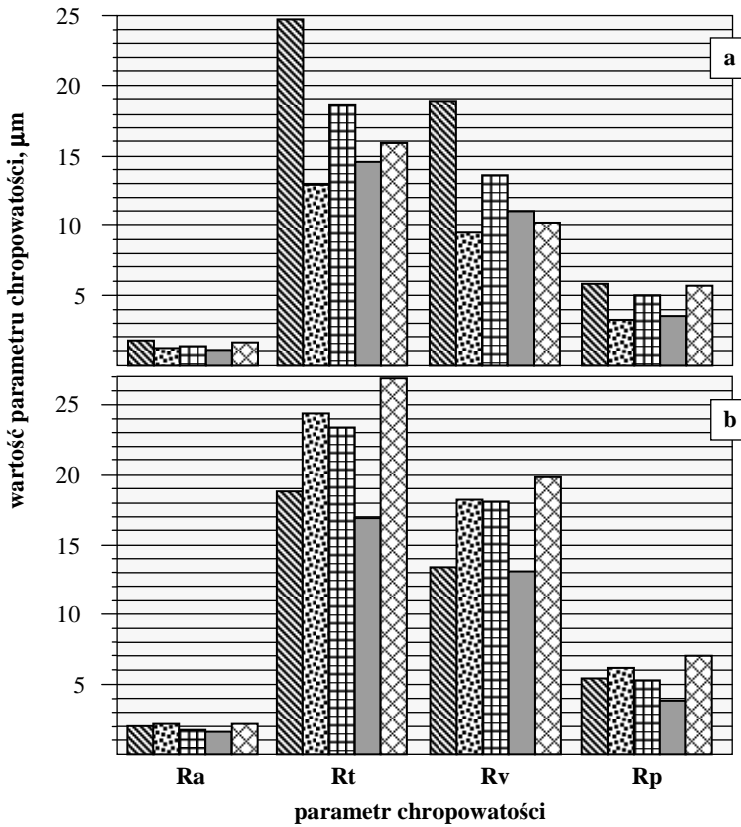
Całkowita wysokość profilu chropowatości R_t na odcinku pomiarowym stanowi sumę maksymalnej głębokości wgłębienia profilu chropowatości R_v i maksymalnej wysokości wzniesienia profilu chropowatości R_p , stąd wartości



Rys. 12. Przykładowe profile powierzchni roboczej części trapezowych po ich pracy w glebie
 Fig. 12. Exemplary profiles of the working surface of trapezoidal parts after their work in the soil

tego parametru są największe (**Rys. 13**). W odniesieniu do procesu ściernego zużywania stali interesujące jest, jakie proporcje występują pomiędzy wartościami parametrów R_v i R_p . W przypadku badanych dziobów wartość maksymalnej głębokości wgłębienia profilu chropowatości R_v (nie uwzględniając dziobów ze stali Hardox 500) zawierała się w przedziale od około 9,54 do 13,54 μm , a przy częściach trapezowych – od około 13,03 do 19,77 μm i była od 1,19 do 1,94 razy większa niż przy dziobach. Można przyjąć, że te względnie głębokie rysy powstały w wyniku oddziaływania cząstek żwiru lub kamieni mocno utwardzonych w glebie i przemieszczających się z dużym naciskiem po powierzchni roboczej elementów. Natomiast wartość maksymalnej wysokości wzniesienia profilu chropowatości R_p była od około 1,77 do 3,47 (przeciętnie około 2,84) razy mniejsza niż wartość wskaźnika R_v . Przy dziobach (nie uwzględniając dziobów wykonanych ze stali Hardox 500) wartość parametru R_p wynosiła od około 3,30 do 5,75 μm , a przy częściach trapezowych – od około 3,80 do 7,07 μm .

Nie stwierdzono powiązania między wyrażonymi parametrami R_a , R_t , R_v i R_p stanem powierzchni badanych dziobów a stanem powierzchni części trapezowych oraz między ubytkiem grubości badanych elementów a wartościami



- ▨ elementy wykonane ze stali Hardox 500
- ▣ elementy wykonane ze stali B27, hartowane
- ▤ elementy wykonane ze stali B27, hartowane i odpuszczone
- elementy wykonane ze stali stosowanej przez przedsiębiorstwo Lemken:
 - dzioby współpracujące z częścią trapezową o grubości 10 mm,
 - części trapezowe o grubości 10 mm
- ▩ elementy wykonane ze stali stosowanej przez przedsiębiorstwo Lemken:
 - dzioby współpracujące z częścią trapezową o grubości 11 mm,
 - części trapezowe o grubości 11 mm

Rys. 13. Chropowatość powierzchni roboczej dziobów (a) i części trapezowych (b) po pracy elementów w glebie: Ra – średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości, Rt – całkowita wysokość profilu chropowatości, Rv – maksymalna głębokość wglębenia profilu chropowatości, Rp – maksymalna wysokość wzniesienia profilu chropowatości

Fig. 13. Working surface roughness of the share points (a) and trapezoidal parts (b) after the elements work in the soil: Ra – arithmetical mean deviation of the profile, Rt – total height of profile, Rv – maximum profile valley depth, Rp – maximum profile peak height

powyższych parametrów. Jedynie zauważono, że dla badanych stali proporcje występujące między wartościami parametrów w poszczególnych grupach (Ra, Rt, Rv i Rp) są zbliżone. W szczególności dotyczy to części trapezowych i w nieco mniejszym zakresie dziobów.

PODSUMOWANIE

Konsekwencją termicznego cięcia lub wypalaniu otworów w blachach wykonanych ze stali Hardox 500 może być odpuszczenie materiału. W badaniach taki przypadek wystąpił przy dziobach lemieszy, które ze względu na odpuszczenie materiału uległy wygięciu i zostały przedwcześnie wymienione na inne elementy. Stąd dla blach Hardox zaleca się dużą ostrożność przy przeprowadzaniu tego typu termicznych zabiegów. Szczególnie przy kształtowaniu elementów o małych wymiarach wskazane byłoby stosowanie technik beztemperaturowych.

Wyniki zaprezentowanych badań trwałości i zużycia lemieszy wykonanych z różnych stali z borem wskazują na porównywalną odporność na zużycie ściernie objętych badaniami materiałów. Części dziobowe lemieszy zostały zdemontowane z korpusów pługa po uprawie pola o powierzchni 7,36 ha/element (poza elementami wykonanymi ze stali Hardox 500, przy których przyczyną wcześniejszego ich demontażu była wadliwa technologia wytwarzania), a części trapezowe (z uwzględnieniem elementów ze stali Hardox 500) – 24,00 ha/element. Zatem w warunkach badań testowane elementy wykonały taką samą pracę. Dodatkowo obrysy zdemontowanych elementów były zbliżone. Maksymalne różnice w zmianie obrysu dziobów, mierzone wzdłuż długości elementów (nie uwzględniając elementów wykonanych ze stali Hardox 500), generalnie mieściły się w zakresie od około 9 do 17 mm. Jedynie w linii pomiarowej l_4 , położonej najbliżej krawędzi połowej elementów, różnice dochodziły do około 44 mm, co prawdopodobnie spowodowane było stosowanym w dziobach firmy Lemken podcięciem od strony krawędzi połowej. Natomiast przy częściach trapezowych różnice w zmianie obrysu zawierały się w zakresie od około 8 do 27 mm, przy czym w początkowym obszarze, ważnym ze względu na stan ich granicznego zużycia (linie pomiarowe l_8 , l_9 i l_{10}), wynosiły jedynie do 16 mm. Należy zaznaczyć, że w przeciętnych, typowych warunkach orki właśnie zmiana obrysu najczęściej determinuje stan granicznego zużycia elementów.

Na podstawie zużycia dziobów trudno jest jednoznacznie wskazać materiał nieco słabszy lub o nieznacznie większej odporności na zużycie ściernie ze względu na brak prawidłowości w zmianie obrysu w poszczególnych miejscach pomiarowych (**Rys. 8a**). Natomiast na podstawie zmiany obrysu części trapezowych o takie uszeregowanie można się pokusić. Nieco mniejszą zmianą obrysu cechowały się elementy wykonane ze stali stosowanej przez przedsiębiorstwo Lemken, następnie hartowanej i odpuszczanej stali B27, z kolei stali Hardox 500, a największą elementy wykonane z hartowanej stali B27 (**Rys. 8b**).

Przy czym podane wcześniej maksymalne różnice w zmianie obrysu części trapezowych stanowiły przeciętnie około 26% wartości całkowitego zużycia części trapezowych w poszczególnych liniach pomiarowych.

Na podkreślenie zasługuje ustalenie dotyczące zmiany obrysu części trapezowych o grubości 10 i 11 mm, których producentem jest firma Lemken. W warunkach badań część trapezowa o grubości 11 mm uległa w liniach pomiarowych l_{10} , l_{11} i l_{12} mniejszej zmianie obrysu jedynie o odpowiednio 2,0, 6,2 i 13,4 mm w porównaniu ze zużyciem elementu wykonanego z blachy o grubości 10 mm i dodatkowo na dużej szerokości fazowanego (**Rys. 7**). Natomiast w liniach pomiarowych l_8 i l_9 zużycie części trapezowej o grubości 11 mm było nawet minimalnie większe (odpowiednio o 1,0 i 0,2 mm) niż elementu cieńszego. Powyższe wskazuje na niewielki wpływ grubości lemieszy na ich trwałość podyktowaną zmianą obrysu.

Biorąc pod uwagę ubytek grubości badanych elementów, układ odporności ściernej badanych stali był inny niż przy zmianie obrysu. Najodporniejszą stalą w tym zakresie okazała się stal B27 poddana hartowaniu i odpuszczaniu (**Rys. 9**). Natomiast w wielu miejscach pomiarowych największy ubytek grubości wystąpił w elementach wykonanych ze stali Hardox 500 (części trapezowe – **Rys. 9b**). Niemniej, jak już wcześniej podkreślano, ubytek grubości elementów nie ma bezpośredniego znaczenia dla stanu ich zużycia granicznego. Jedynie w skrajnych przypadkach, w elementach o dużym ubytku grubości może wystąpić ich wygięcie, pęknięcie lub złamanie.

Zużycie elementów wykonanych z hartowanej i odpuszczanej stali B27 było mniejsze od zużycia elementów wykonanych z tej samej stali i jedynie hartowanych – w ramach stosowanych miejsc pomiarowych średnio około 1,04 i 1,1-krotnie przy zmianie obrysów odpowiednio dziobów i części trapezowych oraz przeciętnie około 1,24-krotnie przy ubytku grubości elementów.

Wartość szerokości pasma zużycia powstającego na powierzchni przyłożenia elementów zależy od ich grubości początkowej oraz intensywności zużycia powierzchni natarcia – im większa grubość początkowa i mniejszy ubytek grubości elementów, tym większa szerokość wytwarzającego się pasma zużycia.

Chropowatość roboczej powierzchni badanych elementów po ich pracy w glebie określona parametrem R_a była zbliżona. Wartość tego parametru przy dziobach zawierała się w przedziale $1,12 \div 1,73 \mu\text{m}$, a przy części trapezowych była około 1,4-krotnie większa i mieściła się w zakresie $1,67 \div 2,24 \mu\text{m}$. Profil powierzchni elementów po ich pracy w glebie cechował się względnie małymi wzniesieniami w stosunku do zagłębień. Maksymalna wysokość wzniesienia profilu chropowatości R_p przy dziobach (nie uwzględniając dziobów wykonanych ze stali Hardox 500) wynosiła od około 3,30 do 5,75 μm , a przy częściach trapezowych od około 3,80 do 7,07 μm . Natomiast maksymalna głębokość wgłębienia profilu chropowatości R_v była od około 1,77 do 3,47 razy większa (przeciętnie 2,84) i wynosiła od około 9,54 do 13,54 μm oraz od około 13,03 do

19,77 μm w przypadku odpowiednio dziobów (nie uwzględniając dziobów wykonanych ze stali Hardox 500) i części trapezowych. Wgłębienia profilu powierzchni, o relatywnie dużej wartości, powstały zapewne w wyniku skrawającego oddziaływania żwiru lub kamieni mocno utwardzonych w glebie i przemieszczających się z dużym naciskiem po powierzchni elementów. Nie stwierdzono występowania powiązania między ubytkiem grubości badanych elementów a wartościami parametrów Ra, Rt, Rv i Rp.

Podkreślić należy, że w czasie badań nie wystąpiły przypadki zużycia awaryjnego elementów (nie uwzględniając wygięcia części dziobowych wykonanych ze stali Hardox 500, którego przyczyną była wadliwa technologia ich wytwarzania), pomimo występowania w uprawianej glebie dużych kamieni, powodujących uruchomienie mechanizmów zabezpieczających korpusy pługa przed przeciężeniem (**Tab. 3**). Wskazuje to na dobrą wytrzymałość i udarność badanych elementów, dostosowaną do parametrów pracy układu zabezpieczającego korpusy.

Istotne jest też to, że w warunkach badań areał uprawiony przez części trapezowe był około 3,3-krotnie większy niż powierzchnia, jaką uprawiały dzioby. Ustalenie relacji między trwałością części trapezowych i trwałością dziobów nie było celem badań, niemniej stwierdzona relacja wyraźnie uzasadnia celowość opracowywania konstrukcji lemieszki dzielonych.

Należy również dodać, że autorzy artykułu zdają sobie sprawę z określonej wady wykonanych badań, związanej z niewielką liczbą zastosowanych powtórzeń dla poszczególnych elementów. Stąd badania te należy traktować jako wstępne, ukierunkowujące i wytyczające zakres dalszych doświadczeń w tym obszarze.

LITERATURA

1. Bauer I., Wolak Z.: Wpływ technologii utwardzania lemieszki na właściwości stali 38GSA. *Inżynieria Rolnicza*, nr 2, 1999, s. 147–151.
2. <http://www.hardox.com> – Hardox 500, wersja z 04.07.2005 (<http://www.stal-hurt.com> - Hardox 500, wersja z dnia 1.02.2013).
3. <http://www.ruukki.com> – Stal borowa do obróbki cieplnej, wersja z 20.07.2012.
4. Konat Ł.: Struktury i właściwości stali Hardox a ich możliwości aplikacyjne w warunkach zużywania ściernego i obciążeń dynamicznych. Praca doktorska. Politechnika Wrocławska, Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, Wrocław 2007.
5. Kufel K., Wiercholski K., Czajkowski A.: Experimental and analytical wear study of plough shares with the elastic and rigid connections to the frame. *Tribologia*, nr 5, 1998, s. 740–753.
6. Łabęcki M.: Wpływ gatunku materiału, sposobu obróbki cieplnej i twardości na trwałość organów roboczych maszyn rolniczych pracujących w glebie, ze szczególnym uwzględnieniem lemieszki do pługów ciągnikowych. *Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych*, nr 2, 1993, s. 22–35.

7. Łabęcki M., Gościański M.: Odlewane lemieszki do pługów ciągnikowych. Technika Rolnicza, 1997, nr 3, s. 20.
8. Łabęcki M., Gościański M., Pirowski Z., Olszyński J.: 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), 2004, s. 35–40.
9. Łabęcki M.: Badania laboratoryjne oraz eksploatacyjne wybranych elementów roboczych maszyn rolniczych pracujących w glebie, wykonanych z nowoczesnych żeliw ADI. Część 2. Badania eksploatacyjne. Journal of Research and Applications In Agricultural Engineering, Vol. 49 (4), 2004, s. 41–46.
10. Łabęcki M., Gościański M., Kapcińska D., Pirowski Z.: 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), 2007, s. 43–51.
11. Napiórkowski J., Michalski R.: Zwiększanie trwałości elementów roboczych w glebie metodami napawania. III Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna. Poltrib '95. Tribologia dla eksploatacji. Jachranka, 24–26 maja 1995, s. II-27 – II-37.
12. Napiórkowski J.: Wpływ odczynu gleby na intensywność zużycia elementów roboczych. Tribologia, nr 5–6, 1997, s. 793–801.
13. Napiórkowski J.: Zużyciowe oddziaływanie gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych (rozprawa habilitacyjna). Inżynieria Rolnicza, nr 12 (72) 2005. Rozprawy habilitacyjne nr 17.
14. Owsiak Z.: Narzędzia skrawające glebę. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 1998.
15. Owsiak Z.: Zużycie i metody zwiększania trwałości narzędzi rolniczych pracujących w glebie. Inżynieria Rolnicza, nr 6 (17), 2000, s. 31–38.
16. Pirowski Z., Olszyński J., Turzyński J., Gościański M.: Elementy maszyn rolniczych pracujących w glebie wykonane z nowoczesnych tworzyw odlewniczych. Motorol, nr 8, 2006, s. 169–180.
17. Stabryła J., Starczewski L.: Oddziaływanie wodoronowych składników gleby na zużycie ściernic narzędzi rolniczych. Problemy Eksploatacji, nr 1, 2006, s. 199–207.
18. Talarczyk W.: Zużycie elementów roboczych maszyn w procesie uprawy gleby. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, nr 2, 1993, s. 36–42.
19. Wierzcholski K., Kufel K.: The wear of the shares of plough bodies with rigid and elastic connections to the frame. International Journal of Wear, 162–164, 1993, s. 1002–1003.
20. Wołak Z., Stabryła J.: Technologia stosowana w produkcji lemieszki a właściwości tworzywa i trwałość narzędzia. Roczniki Nauk Rolniczych, t. 77-C-4, 1988, s. 191–205.
21. Zwierzycki W. (red.): Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach maszyn. PWN, Warszawa – Poznań 1990.

Normy

PN-61/H-04503. Odczynniki do badania mikrostruktury stopów żelaza.

PN-90/R-55021 Maszyny rolnicze. Metody badań narzędzi i maszyn uprawowych.

PN-90/R-55003. Maszyny rolnicze. Metody badań. Charakterystyka warunków pracy maszyn do prac polowych.

BN-85/0642-48 Stalowe wyroby walcowane do produkcji lemiesz i innych pracujących w glebie elementów maszyn rolniczych.

Summary

The results of the investigation of durability and ploughshare wear made from three grades of boron steel, Hardox 500, B27 and used by Lemken Company, are presented. During the research, ploughing on sandy soils was done in preparation for subsequent sowing. In order to establish the ploughshare wear, the change of contour, the loss of thickness, the width of the wear band formed on the surface in contact with soil, the roughness of the working surface, and the loss of mass were determined. However, the differences in wear were relatively small, indicating that the abrasion resistance values of the steels under investigation were comparable.

