

Wpłynęło 12.05.2014 r.  
Zrecenzowano 10.06.2014 r.  
Zaakceptowano 23.06.2014 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

## Fizyczno-mechaniczne i technologiczne właściwości Inianej masy omlotowej i jej części składowych

Edmund KAMIŃSKI<sup>1)</sup> ABDEF, Vjačeslav A. ŠARŠUNOV<sup>2)</sup> ABDEF,  
Viktor E. KRUGLENJA<sup>3)</sup> ABDEF

<sup>1)</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Mazowiecki Ośrodek  
Badawczy w Kłudzienku

<sup>2)</sup> Магілёўскі дзяржаўны ўніверсітэт харчавання, Магілёў

<sup>3)</sup> Беларуская дзяржаўная сельскагаспадарчая акадэмія, Горкі

### Streszczenie

Na efektywność operacji technologicznych lnu uprawianego na nasiona ma wpływ wiele czynników, w tym właściwości fizyczno-mechaniczne Inianej masy omlotowej (targanu). Celem badań było wyznaczenie wartości wskaźników charakteryzujących właściwości fizyczno-mechaniczne Inianej masy omlotowej, składającej się z nasion luzem, torebek nasiennych, źdźbeł słomy Inianej i chwastów, otrzymanej podczas wstępnego omlotu lnu przeznaczonego na nasiona. Badania obejmowały pomiary wilgotności bezwzględnej składników Inianej masy omlotowej, jej gęstości i podatności na deformację, współczynników tarcia, właściwości aerodynamicznych, wytrzymałości torebek nasiennych, składu frakcyjnego po omlocie i zapotrzebowania na ciepło do suszenia. Wykonano także klasyfikację nasion i domieszek według długości, grubości i szerokości. Stwierdzono, że wilgotność bezwzględna Inianej masy omlotowej wynosiła od 35 do 50%, w tym: nasion luzem – 15–27%, torebek nasiennych – 18–58%, części słomiastych – 30–65%, chwastów – 45–80%. Gęstość wysuszonego targanu wynosiła ok. 140 kg·m<sup>-3</sup>. Średnie wartości współczynników tarcia masy omlotowej wynosiły: wewnętrznego – 1,69, statycznego – 0,83, dynamicznego – 0,50. Opory aerodynamiczne przepływu powietrza przez masę omlotową zależały od grubości jej warstwy i były do niej proporcjonalne. Masa wody odparowanej z 1 t targanu (stosunek masy źdźbeł lnu do chwastów λ = 2:1) wynosiła 300–470 kg, a nakłady cieplne na jego suszenie – odpowiednio 2 226 500–3 478 400 kJ·t<sup>-1</sup>. Niszczenie torebek nasiennych mniej dojrzałych było łatwiejsze niż dobrze dojrzałych. Skład Inianej masy po domłocie, przeznaczonej do czyszczenia, wynosił: torebki nasienne – 1,1–36,0%, nasiona luzem – 28–67,2%, nasiona chwastów – 5,7–11,7%, plewy i domieszki pyliste – 9,5–31%, resztki źdźbeł i domieszki mineralne – 1,9–6,2%.

**Słowa kluczowe:** len, nasiona lnu, właściwości masy omlotowej, zbiór lnu, kombajny do lnu



## Wstęp

W technologii uprawy lnu na nasiona ważnymi operacjami technologicznymi są: wrywanie lnu i układanie w pokosy (ścielenie), roszenie, wstępny omłot, suszenie targanu, domłot podsuszonego targanu, czyszczenie [KAZAKEVIČ i in 2004; KOCUBA, KRUGLENJA 2004; ŠARŠUNOV i in. 2012]. Na efektywność tych zabiegów ma wpływ wiele czynników, m.in. warunki glebowo-klimatyczne, technologia zbioru i obróbki pozbiorowej, zastosowane maszyny, a także właściwości fizyczno-mechaniczne obrabianego materiału [HELLER 2012; KURHAŃSKI 1982; MAKSIMOV 2004; SIELICKA 2012]. KOŁODZIEJ [2001] przeprowadził ocenę porównawczą plonowania nasion i słomy oraz ważniejszych cech technologicznych dwóch odmian lnu włóknistego, a także [KOŁODZIEJ 2004] szczegółową analizę wpływu opadów atmosferycznych na plonowanie słomy i nasion lnu włóknistego. Wykazał, że oba czynniki, tj. odmiana i opady atmosferyczne, mają istotne znaczenie w technologii produkcji lnu. HELLER i ADAMCZEWSKI [2010] prowadzili badania nad wpływem wybranych warunków pogodowych na stan i stopień zachwaszczenia łąnu lnu włóknistego. Badania dotyczyły m.in. wpływu opadów przed siewem i podczas wegetacji oraz temperatury na skład gatunkowy chwastów w łąnie lnu włóknistego. Największe zachwaszczenie wystąpiło w warunkach niedoboru wilgoci przed siewem oraz wilgotnej i chłodnej pogody podczas wegetacji.

Len uprawiany w Polsce wymaga gleb żyznych, utrzymanych w wysokiej kulturze, średnio zwięzłych, o uregulowanych stosunkach powietrzno-wodnych, w klasie bonitacyjnej co najmniej IVa [HELLER 2012]. Występujące w Polsce tendencje rozwojowe w rolnictwie ekologicznym uwzględniają zwiększenie areалу uprawy lnu włóknistego i oleistego pod względem asortymentu i ilości [ANDRZEJEWSKA 2006; GRABOWSKA, HELLER 2009; JANOWSKA-BIERNAT 2012].

Szeroko zakrojone badania nad produkcją roślin oleistych są prowadzone w takich krajach, jak: Białoruś, Rosja i Ukraina [GARKUŠA 2011; KRUGLENJA 2006; ŠARŠUNOV i in. 2010]. Produkty otrzymywane zarówno ze słomy lnianej, jak i nasion lnu cieszą się coraz większym popytem w Polsce i za granicą.

Celem badań było wyznaczenie wartości wskaźników charakteryzujących właściwości fizyczno-mechaniczne lnianej masy omłotowej (targanu), składającej się z nasion luzem, torebek nasiennych, części słomy lnianej i chwastów, otrzymanej podczas wstępnego omłotu lnu przeznaczonego na nasiona.

## Metody i zakres badań

Zakres badań obejmował wyznaczenie wilgotności bezwzględnej składników lnianej masy omłotowej (w tym: nasion luzem, torebek nasiennych, włóknistych domieszek słomy lnianej i chwastów), jej gęstości i względnej deformacji, współczynników tarcia (wewnętrznego, statycznego i dynamicznego), właściwości aerodynamicznych, zapotrzebowania na ciepło do suszenia, właściwości wytrzymałościowych torebek nasiennych, składu frakcyjnego po domłocie, prędkości unoszenia podczas fluidyzacji. Wykonano także klasyfikację nasion i domieszek według długości, grubości i szerokości.

Badania prowadzono na lnianej masie omlotowej (targanie), pozyskanej ze wstępnego omlotu lnu uprawianego na nasiona, zbieranego kombajnem LK-4A. Kombajn ten służy do wrywania lnu i oczesywania torebek nasiennych, ma możliwość gromadzenia oczesanego materiału w zbiorniku i bezpośredniego przeładowywania go do środków transportu, a ponadto może być wyposażony w aparat wiążący lub urządzenie przyspieszające proces rośnięcia.

Wyznaczono wartości następujących wielkości fizycznych, charakteryzujących lnianą masę omlotową: wilgotność bezwzględna jej części składowych, gęstość, względne odkształcenie, współczynniki tarcia (wewnętrznego, statycznego i dynamicznego), zapotrzebowanie na ciepło do suszenia, właściwości aerodynamiczne i wytrzymałościowe, rozkład części słomistych według ich rozmiarów, stopień oddzielania domieszek. Pomiarów wykonywano w trzech powtórzeniach (różnica wyników nie przekraczała 10%), z wykorzystaniem dostępnych przyrządów pomiarowych. Do pomiaru wilgotności stosowano przyrząd „Fauna-M”. Pomiarów prędkości przepływu powietrza suszącego wykonywano za pomocą termo-anemometrów EA-2M i Testo 417 (dokładność pomiarów wynosiła 4%). Do określenia prędkości unoszenia użyto laboratoryjnego, pneumatycznego klasyfikatora „Petkus”. Metodę badań oraz aparaturę pomiarową opisano w opracowaniu ŠARŠUNOVA i in. [2012].

## **Wyniki badań**

### **Wilgotność i skład frakcyjny targanu po wstępnym omlocie**

Wilgotność bezwzględna targanu po wstępnym omlocie wynosiła 35–50%, w tym: torebek nasiennych – 18–58%, luźnych nasion – 15–27%, chwastów – 45–80%, słomy lnianej – 30–65% (tab. 1). Wilgotność składników lnianej masy omlotowej zależy od wielu czynników, w tym: zachwaszczenia plantacji, stopnia dojrzałości lnu, terminu zbioru itd. W miarę opóźniania zbioru i zwiększania stopnia dojrzałości wilgotność masy omlotowej kierowanej na dosuszenie zmniejsza się – w latach suchych zmniejszenie wilgotności wynosi 1,5–2,0%.

Analiza otrzymanych wyników wykazała, że gdy plon targanu wynosi 25–30 dt·ha<sup>-1</sup>, nasiona w targaniu stanowią 35–50% jego masy, a pozostałe 50–65% – to domieszki, które mają małe zastosowanie w rolnictwie (tab. 1). Wilgotność tych nasion wynosi średnio 25%, a domieszek – 45%.

### **Charakterystyki wymiarowe domieszek włóknistych znajdujących się w masie omlotowej**

Długość źdźbeł lnu i chwastów wynosi od 5 do 145 mm, a ich grubość – od 0,8 do 1,8 mm (rys. 1).

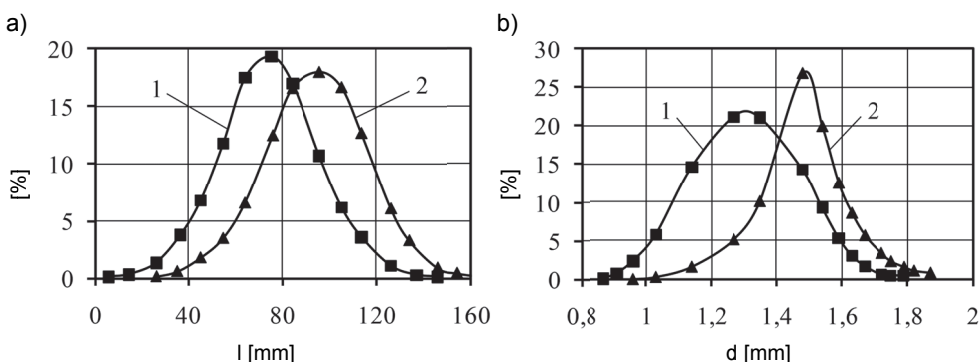
### **Gęstość i względne odkształcenie masy omlotowej**

Gęstość wilgotnej masy omlotowej wynosi 350 kg·m<sup>-3</sup> i maleje podczas suszenia do 129–151 kg·m<sup>-3</sup> (tab. 2).

Tabela 1. Skład masowy i procentowy plonu (targanu) z 1 ha oraz wilgotność składników  
 Table 1. Mass and percentage composition of yield per 1 ha and humidity of components

Składniki targanu Oakum components	Plon wilgotnego targanu Humid oakum yield		Wilgotność Humidity	Plon suchego targanu Dry oakum yield	
	[dt·ha <sup>-1</sup> ]	[%]		[dt·ha <sup>-1</sup> ]	[%]
Targan Oakum	25,0–30,0	100	35–50	8,8–13,5	100
Torebki nasienne Boll of flax	–	30–53	18–58	–	29–45
Nasiona ogółem Total of seed	5,2–8,3	35–50	22–27	2,8–4,6	38–54
Nasiona luzem Bulk seed	–	2–7	15–27	–	9–14
Chwasty Weed	3,5–9,6	2–12	45–80	1,8–2,8	2–10
Plewy i źdźbła Chaff and stalks	6,9–8,2	10–33	30–65	3,3–4,9	6–25

Źródło: wyniki własne. Source: own study.



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 1. Rozkład źdźbeł lnu (1) i chwastów (2), znajdujących się w targaniu według:  
 a) długości l, b) grubości d

Fig. 1. Distribution of oakum mass components flax stalks (1) weeds (2) according to their: a) length l, b) thickness d

Tabela 2. Gęstość wysuszonej lnianej masy omlotowej  
 Table 2. Oakum density of flax threshed mass

Wyszczególnienie Specification	Kolejne pomiary Subsequent measurements			Wartości średnie Average values
	1	2	3	
Masa targanu [kg] Oakum mass [kg]	13,30	15,50	11,00	13,30
Powierzchnia dna pojemnika [m <sup>2</sup> ] Area of container bottom [m <sup>2</sup> ]	0,25	0,25	0,25	0,25
Wysokość targanu w pojemniku [m] Height of oakum in container [m]	0,38	0,41	0,34	0,38
Gęstość targanu [kg·m <sup>-3</sup> ] Oakum density [kg·m <sup>-3</sup> ]	140,00	151,00	129,00	140,00

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

W trakcie badań eksploatacyjnych ustalono wartości naprężeń ściskających w warstwie targanu w zależności od jego gęstości i względnej deformacji warstwy lnianej masy ołotowej (tab. 3 i 4).

Tabela 3. Względna deformacja lnianej masy ołotowej

Table 3. Relative deformation of flax threshed mass

Wyszczególnienie Specification		Wysokość początkowa Height $H_0$ [m]	Wysokość targanu $H_1$ [m] przy obciążeniu $G$ [N] Oakum height $H_1$ [m] at loading value $G$ [N]						
			50	100	150	200	250	300	350
Kolejne pomiary Successive measurements	1	0,400	0,37	0,34	0,30	0,26	0,21	0,16	0,10
	2	0,380	0,35	0,32	0,28	0,23	0,19	0,15	0,10
	3	0,390	0,36	0,33	0,29	0,25	0,21	0,16	0,11
Średnio Average		0,385	0,36	0,33	0,29	0,24	0,20	0,16	0,11
Deformacja względna Relative deformation			0,08	0,15	0,26	0,37	0,48	0,60	0,74

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Tabela 4. Naprężenia ściskające w lnianej masie ołotowej [MPa] w zależności od jej gęstości i deformacji względnej

Table 4. Stress compressing flax threshed mass [MPa] depending on density and relative deformation

Gęstość Density [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	Naprężenia ściskające przy względnej deformacji targanu Stress compressing at relative oakum deformation						
	0,077	0,154	0,257	0,368	0,479	0,598	0,735
130	0,048	0,088	0,134	0,190	0,263	0,350	0,430
140	0,053	0,098	0,152	0,220	0,309	0,417	0,518
150	0,059	0,110	0,173	0,253	0,361	0,495	0,622

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

### Tarcie w lnianej masie ołotowej

Określono wartości współczynników tarcia w lnianej masie ołotowej, w zależności od jej wilgotności, które można wykorzystywać do obliczeń parametrów procesu jej suszenia, ołotu i separacji (tab. 5). Są to: współczynnik tarcia wewnętrznego podczas przesuwania jednej warstwy po drugiej, współczynnik tarcia statycznego przesuwania po powierzchni stalowej i współczynnik tarcia dynamicznego podczas ruchu materiału po powierzchni.

Tabela 5. Współczynniki tarcia lnianej masy ołotowej

Table 5. Friction coefficients of flax threshed mass

Wilgotność bezwzględna Absolute humidity [%]	Współczynnik tarcia Friction coefficients		
	wewnętrznego internal	statycznego static	dynamicznego dynamic (kinetic)
10	1,53	0,72	0,29
20	1,59	0,74	0,36
30	1,62	0,76	0,40
40	1,71	0,79	0,47
50	1,80	0,87	0,59
60	1,89	1,08	0,87
Średnio Average	1,69	0,83	0,50

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

### **Aerodynamiczne właściwości warstwy lnianej masy omlotowej**

Analiza otrzymanych danych eksperymentalnych wykazała, że podstawowymi parametrami, wpływającymi na opór aerodynamiczny przepływu czynnika podczas suszenia targanu, są: wysokość warstwy suszonego materiału, jego gęstość objętościowa i prędkość przepływu czynnika suszącego. Ze zwiększaniem grubości suszonej warstwy opory przepływu czynnika suszącego wzrastają (rys. 2). Opór aerodynamiczny warstwy wzrastał także ze zwiększaniem prędkości przepływu czynnika suszącego. Po dwukrotnym zwiększeniu tej prędkości opory przepływu wzrastały 1,17–2,0 razy. Opory przepływu czynnika suszącego podczas suszenia bez mieszania były 1,3–2,4 razy większe niż podczas suszenia warstwy targanu o tej samej grubości z mieszaniem.

Nierównomierność suszenia w kierunku pionowym bez mieszania wynosiła 1,35–2,79%, a z mieszaniem – 0,68–1,78%. Nierównomierność suszenia w kierunku poziomym (odchylenie średniej wilgotności warstw od średniej wilgotności targanu) bez mieszania wynosiła – 0,28–11,22%, a z mieszaniem – 0,03–3,86%. Sumaryczna nierównomierność suszenia bez mieszania wynosiła 9,63%, a z mieszaniem – 3,97%.

Zależności oporów aerodynamicznych  $P$  od wysokości warstwy  $H$  oraz prędkości przepływu czynnika suszącego  $v$  można aproksymować zależnościami liniowymi:  $P = a + b \cdot H$  oraz  $P = a + b \cdot v$ , gdzie:  $a$ ,  $b$  – współczynniki zależne od warunków przepływu (rys. 2).

### **Zapotrzebowanie na ciepło do suszenia lnianej masy omlotowej**

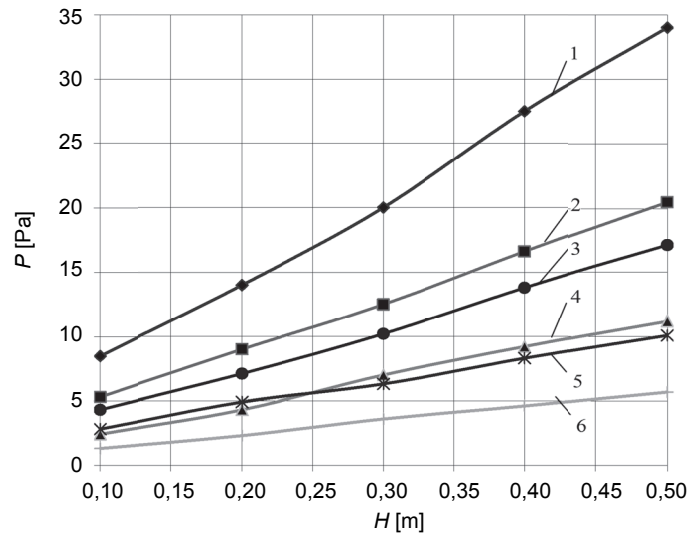
Na podstawie danych dotyczących ilości wody odparowanej z 1 tony lnianej masy omlotowej, gdy stosunek masy żdźbeł lnu do żdźbeł chwastów  $\lambda$  wynosi 2:1 (tab. 6), obliczono ilość ciepła potrzebnego do przeprowadzenia tego procesu, gdy wilgotność względna czynnika suszącego  $\varphi_2$  wynosi 80% (tab. 7).

Nakłady cieplne na dosuszenie 1 t lnianej masy omlotowej o zawartości żdźbeł od 5 do 40% wynoszą od  $2,2 \cdot 10^6$  do  $3,0 \cdot 10^6$  kJ $\cdot$ t $^{-1}$  i w przypadku zawartości żdźbeł 40% są większe o  $0,8 \cdot 10^6$  kJ $\cdot$ t $^{-1}$  (36,4%). Wynika z tego, że oddzielenie części słomiastych od lnianej masy omlotowej przed jej suszeniem pozwoli na znaczne ograniczenie zapotrzebowania na ciepło do suszenia.

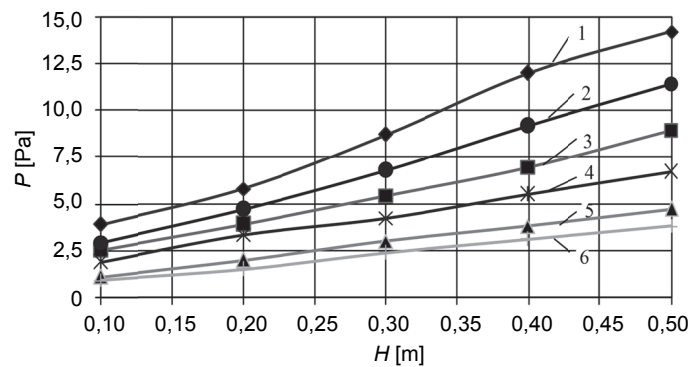
### **Właściwości wytrzymałościowe torebek nasiennych**

Stopień uszkodzania torebek nasiennych podczas omlotu w dużym stopniu zależy od terminu zbioru lnu, zróżnicowania stopnia dojrzałości torebek nasiennych, wilgotności lnianej masy omlotowej, zawartości w niej części słomiastych, liczby nasion luzem i wielu innych czynników. Z pomiarów siły potrzebnej do zniszczenia torebki nasiennej lnu  $F$ , w funkcji wilgotności i stopnia dojrzałości torebek (rys. 3), wynika, że zwiększenie wilgotności masy omlotowej z 12 do 15% prowadzi do 1,3–1,8-krotnego zwiększenia siły potrzebnej do niszczenia torebek nasiennych.

a)



b)



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 2. Zależność oporu aerodynamicznego  $P$  przepływu czynnika suszącego od grubości  $H$  warstwy targonu znajdującej się w komorze suszarki karuzelowej: a) z mieszaniem, b) bez mieszania; 1, 6 – prędkość czynnika suszącego  $v = 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 2, 5 – prędkość czynnika suszącego  $v = 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 3, 4 – prędkość czynnika suszącego  $v = 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , odpowiednio na platformach dolnej i górnej

Fig. 2. Dependence of aerodynamic drag (resistance)  $P$  of the flow of oakum drying agent on the thickness of oakum layer  $H$  contained in the rotary drying chamber: a) with mixing, b) without mixing; 1, 6 – at drying agent ratio  $v = 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 2, 5 – at drying agent ratio  $v = 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 3, 4 – at drying agent ratio  $v = 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectively at the bottom and top platform

Tabela 6. Masa wody odparowanej z 1 t Inianej masy omlotowej ( $\lambda = 2:1$ )  
 Table 6. Mass of water evaporated from 1 t of flax threshed mass ( $\lambda = 2:1$ )

Zawartość źdźbeł w masie omlotowej Stalks content in flax threshed mass [%]	Masa odparowanej wody Mass of evaporated water						Suma Total [kg]
	ze źdźbeł lnu from flax stalks		ze źdźbeł chwastów from weed stalks		z torebek nasiennych from boll of flax		
	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	
5	18,3	6,1	11,2	3,7	269,8	90,2	299,3
10	36,6	11,6	22,4	7,1	255,6	81,3	314,6
15	54,9	16,6	33,6	10,2	241,4	73,2	329,9
20	73,2	21,2	44,8	13,0	227,2	65,8	345,2
25	91,5	25,4	56,0	15,5	213,0	59,1	360,5
30	109,8	29,3	67,2	17,2	198,8	53,5	375,8
35	128,1	32,7	78,4	20,0	184,6	47,3	391,1
40	146,4	35,4	90,6	22,2	170,4	42,4	407,4
45	164,7	38,9	101,8	24,0	156,2	37,1	422,7
50	183,0	41,7	113,0	25,8	142,0	32,5	438,6
55	201,3	44,2	124,2	27,4	127,8	28,4	453,8
60	219,3	46,8	135,4	28,8	113,6	24,4	468,6

Objaśnienie:  $\lambda$  – stosunek masy źdźbeł lnu do masy źdźbeł chwastów.  
 Explanation:  $\lambda$  – the mass ratio flax stalks to the weed stalks.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Tabela 7. Nakłady cieplne na odparowanie wody z 1 t Inianej masy omlotowej ( $\lambda = 2:1$ ,  $\varphi_2 = 80\%$ )

Table 7. Heat input for water evaporation from 1 t of flax threshed mass ( $\lambda = 2:1$ ,  $\varphi_2 = 80\%$ )

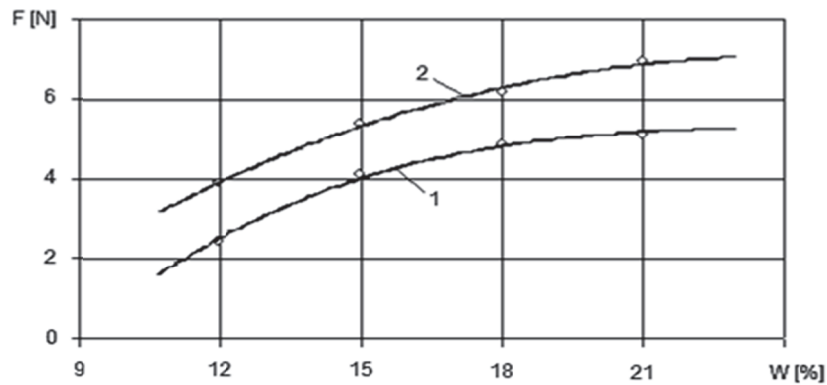
Zawartość źdźbeł w masie omlotowej Stalks content in flax threshed mass [%]	Nakłady cieplne na odparowanie wody Heat input for water evaporation						Suma Total [kJ·t <sup>-1</sup> ]
	ze źdźbeł lnu from flax stalks		ze źdźbeł chwastów from weed stalks		z torebek nasiennych from bolls of flax		
	[kJ·t <sup>-1</sup> ]	[%]	[kJ·t <sup>-1</sup> ]	[%]	[kJ·t <sup>-1</sup> ]	[%]	
5	136 134,1	6,1	83 317,1	3,7	2 007 048,7	90,2	2 226 500,0
10	272 268,2	11,6	166 634,2	7,1	1 901 414,6	81,3	2 340 317,0
15	408 402,3	16,6	249 951,3	10,2	1 795 780,4	73,2	2 454 134,0
20	544 536,4	21,2	333 268,4	13,0	1 690 146,3	65,8	2 567 951,1
25	680 670,5	25,4	416 585,6	15,5	1 584 512,1	59,1	2 681 768,1
30	816 804,6	29,3	499 902,6	17,2	1 478 878,0	53,5	2 795 585,2
40	1 089 072,8	35,4	666 536,8	22,2	1 267 609,7	42,4	3 023 219,3
45	1 225 206,9	38,9	749 853,9	24,0	1 161 975,6	37,1	3 137 036,4
50	1 361 341,0	41,7	833 171,0	25,8	1 056 341,4	32,5	3 250 853,4
55	1 497 475,1	44,2	916 488,1	27,4	950 707,3	28,4	3 364 670,5
60	1 633 602,2	46,8	999 805,2	28,8	845 073,2	24,4	3 478 487,5

Objaśnienia:  $\lambda$  – stosunek masy źdźbeł lnu do masy źdźbeł chwastów,  $\varphi_2$  – wilgotność względna czynnika suszącego.

Explanations:  $\lambda$  – the mass ratio flax stalks to the weed stalks,  $\varphi_2$  – relative humidity of the drying medium.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.





Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 3. Zależność siły  $F$  potrzebnej do rozdarcia torebek nasiennych od ich wilgotności  $W$ : 1 – torebki mało dojrzałe, 2 – torebki dobrze dojrzałe

Fig. 3. Dependence of the force required  $F$  to tear the bolls on relative humidity  $W$ : 1 – little matured bolls of flax, 2 – well matured bolls of flax

Z otrzymanych danych wynika, że siła potrzebna do rozrywania torebek nasiennych mało dojrzałych, o wilgotności 12%, jest o 46,25% mniejsza niż siła potrzebna do rozrywania torebek nasiennych dobrze dojrzałych. Gdy wilgotność torebek wynosi 15%, siła rozrywająca torebki mało dojrzałe jest o 25,7% mniejsza niż siła rozrywająca torebki dojrzałe.

#### Skład lnianej masy po domłocie, przeznaczonej do czyszczenia

Lnianą masę omlotową przed suszeniem poddaje się dodatkowemu zabiegowi omlotu i oddzielania części słoniastych z wykorzystaniem młocarni – wialni MB 2,5A lub kombajnu buraczanego w delikatnym reżimie pracy. Przed zabiegiem czyszczenia w masie ogólnej znajdują się: niedomłócone torebki nasienne, nasiona luzem, nasiona chwastów, plewy i resztki źdźbeł o długości nieprzekraczającej 20 mm. Skład frakcyjny masy omlotowej po domłocie, kierowanej do czyszczenia, zmienia się w szerokim zakresie (tab. 8) i zależy od stopnia dojrzałości roślin, zachwaszczenia pola, stopnia wylegania lnu, sprawności i regulacji kombajnu.

Z badań przeprowadzonych w Rejonowej Stacji Obróbki Lnu w Gorkach wynika, że chwastami najczęściej spotykanymi w lnianej masie omlotowej są: życica lniana, komosa biała, rumianek, perz rozłogowy, chaber bławatek i przytulia, które różnią się prędkością unoszenia [ŠARŠUNOV i in. 2010].

Podstawową charakterystyką aerodynamiczną składników lnianej masy omlotowej jest prędkość unoszenia.

Rozkład nasion lnu i chwastów według fizyczno-mechanicznych właściwości, wpływających na ich rozdział pozwala na określenie stopnia oddzielania domieszek przy różnych stratach nasion lnu (tab. 9).

Tabela 8. Skład frakcyjny lnianej masy omlotowej po domłocie, kierowanej do czyszczenia  
 Table 8. Composition of threshed mass after finally tresh and before cleaning

Składniki lnianej masy omlotowej Components of flax threshed mass	Udział w masie ogólnej Share in total mass [%]
Torebki nasienne Bolls of flax	1,1–36,0
Nasiona luzem Bulk seed	28,0–67,2
Nasiona chwastów Weed seed	5,7–11,7
Plewy i domieszki pyliste Chaff and dust admixtures	9,5–31,0
Resztki źdźbeł lnu i domieszki mineralne Rest of flax stalks and mineral admixtures	1,9–6,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie: ŠARŠUNOV i in. [2010].  
 Source: own elaboration based on ŠARŠUNOV et al. [2010].

Tabela 9. Stopień oddzielania domieszek od nasion lnu  
 Table 9. Degree of separation of impurities from flax seeds

Domieszki Admixtures	Stopień oddzielania domieszek [%] przy stratach nasion lnu [%] Degree of separation of impurities [%] flax seed loss [%]		
	0	0,2–0,5	2,5–3,0
Według prędkości unoszenia According to floating ratio			
Rumianek Chamomile	96,1	100,0	100,0
Chaber bławatek Bluebottle	30,9	82,1	93,2
Perz rozłogowy Wheat grass	12,1	78,2	94,1
Komosa biała (lebioda) White goose-foot	4,3	43,7	68,1
Życica inowa Hardy ryegrass	0,6	17,4	37,8
Przytulia Bedstraw	0	6,0	30,2
Według grubości nasion According to seed thickness			
Rumianek Chamomile	0	1,0	21,8
Chaber bławatek Bluebottle	9,7	50,0	90,3
Perz rozłogowy Wheat grass	74,2	90,3	97,4
Komosa biała (lebioda) White goose-foot	0,1	1,5	9,7
Życica inowa Hardy ryegrass	0,3	4,8	28,8
Przytulia Bedstraw	0	0	0,5
Według szerokości nasion According to seed width			
Rumianek Chamomile	100,0	100,0	100,0
Chaber bławatek Bluebottle	3,5	39,8	78,2
Perz rozłogowy Wheat grass	0,3	4,8	17,4
Komosa biała (lebioda) White goose-foot	100,0	100,0	100,0
Życica inowa Hardy ryegrass	16,4	97,4	100
Przytulia Bedstraw	100,0	100,0	100,0
Według długości nasion According to seed length			
Rumianek Chamomile	100,0	100,0	100,0
Chaber bławatek Bluebottle	0,3	2,1	9,7
Perz rozłogowy Wheat grass	100,0	100,0	100,0
Komosa biała (lebioda) White goose-foot	100,0	100,0	100,0
Życica inowa Hardy ryegrass	4,2	19,2	50,0
Przytulia Bedstraw	99,3	100,0	100,0

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

## Podsumowanie

Lniana masa omlotowa zbierana kombajnami do lnu stanowi mieszaninę zróżnicowaną zarówno pod względem rodzaju (nasiona lnu, torebki nasienne, źdźbła lnu, chwastów i inne domieszki), jak i właściwości fizyczno-mechanicznych (wilgotność, gęstość, współczynniki tarcia, prędkość unoszenia itp.). Duża wilgotność domieszek do nasion sprawia, że suszenie całej masy jest związane z dużymi nakładami energetycznymi, wskazane więc jest odseparowanie możliwie dużej masy domieszek przed suszeniem. Skuteczność separacji zależy od znajomości właściwości fizyczno-mechanicznych mieszaniny i jej części składowych. Za podstawowe dla procesu separacji uznano właściwości mechaniczne oceniane wymiarami liniowymi składników mieszaniny (długość, szerokość, grubość), wilgotność, gęstość, wytrzymałość, właściwości aerodynamiczne charakteryzowane przez prędkość unoszenia.

Stwierdzono, że wilgotność bezwzględna lnianej masy omlotowej wynosiła od 35 do 50%, w tym: nasion luzem – 15–27%, torebek nasiennych – 18–58%, części słomiastych (plew i źdźbeł) – 30–65%, chwastów – 45–80%. Gęstość wysuszonego targanu wynosiła ok.  $140 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Średnie wartości współczynników tarcia masy omlotowej wynosiły: wewnętrznego – 1,69, statycznego – 0,83 i dynamicznego – 0,50. Opory aerodynamiczne przepływu powietrza przez masę omlotową zależały od grubości warstwy i były do niej proporcjonalne. Masa wody odparowanej z 1 t targanu (o stosunku masowym źdźbeł lnu do źdźbeł chwastów  $\lambda = 2:1$ ) wynosiła 300–470 kg, a nakłady ciepłe na suszenie – odpowiednio 2 226 500–3 478 400  $\text{kJ}\cdot\text{t}^{-1}$ . Niszczenie torebek nasiennych mniej dojrzałych było łatwiejsze niż dobrze dojrzałych. Skład lnianej masy po domłocie przeznaczonej do czyszczenia wynosił: torebki nasienne – 1,1–36,0%, nasiona luzem – 28–67,2%, nasiona chwastów – 5,7–11,7%, plewy i domieszki pyliste – 9,5–31%, resztki źdźbeł i domieszki mineralne – 1,9–6,2%.

## Wnioski

Właściwości fizyczno-mechaniczne lnianej masy omlotowej zmieniają się w dużym zakresie. Wilgotność bezwzględna targanu, zależna od wilgotności jego poszczególnych frakcji, wynosiła od 35 do 50%. Gęstość targanu przed suszeniem wynosiła ok.  $350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast po suszeniu – ok.  $140 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Współczynniki tarcia wewnętrznego (1,53–1,89), statycznego (0,72–1,08) i dynamicznego (0,29–0,87) zależały głównie od wilgotności targanu i wzrastały wraz z jego wilgotnością bezwzględną. Zapotrzebowanie na ciepło do suszenia targanu, zależne od wilgotności początkowej lnianej masy omlotowej, było duże, a efekty wynikające z wcześniejszego oddzielenia masy słomiastej (przed suszeniem) oceniono na ok. 30%.

## Bibliografia

ANDRZEJEWSKA A. 2006. Poradnik plantatora lnu włóknistego. Poznań. Instytut Włókien Naturalnych. ISBN: 83-90973-960, 97-88390973-968 ss. 84.

GRABOWSKA L., HELLER K. 2009. Uprawa lnu i konopi w ekologicznych gospodarstwach agroturystycznych [online]. Materiały szkoleniowe Podlaskiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Szepietowie ss. 23. [Dostęp 12.03.2014]. Dostępny w Internecie: [http://www.lenikonopie.zielonewrota.pl/pliki/Materialy\\_sz\\_lenkon.pdf](http://www.lenikonopie.zielonewrota.pl/pliki/Materialy_sz_lenkon.pdf)

- HELLER K. 2012. Metodyka integrowanej ochrony roślin dla uprawy lnu włóknistego. Maszynopis. Poznań. Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich ss. 87.
- HELLER K., ADAMCZEWSKI K. 2010. Wpływ wybranych warunków pogodowych na stan i stopień zachwaszczenia lnu włóknistego. *Fragmenta Agronomica*. Nr 27(3) s. 63–69.
- JANOWSKA-BIERNAT J. 2012. Tendencje w rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce – Prognozy a stan faktyczny. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. Vol. 57(3) s. 179–181.
- KOŁODZIEJ J. 2001. Porównanie plonowania nasion i słomy oraz ważniejszych cech technologicznych dwóch odmian lnu włóknistego. Maszynopis. Kraków. Katedra Meteorologii i Klimatologii Rolniczej AR w Krakowie ss. 8.
- KOŁODZIEJ J. 2004. Plonowanie słomy i nasion lnu włóknistego w zależności od opadów atmosferycznych. *Acta Agrophysica*. Nr 3(1) s. 75–85.
- KURHAŃSKI M. 1982. *Uprawa lnu włóknistego*. Warszawa. PWRiL. ISBN: 8309006349 ss. 168.
- SIELICKA M. 2012. Wybrane kierunki wykorzystania oleju i włókna lnianego. *Towaroznawcze Problemy Jakości*. Nr 4 s. 37–45.
- ГАРКУША С.В. и др. (коллектив 19 авторов) 2011. Адаптивные технологии возделывания масличных культур в южном регионе России. Монография. Краснодар. ВНИИМК. ISBN 978-5-902792-11-6 сс. 186.
- КАЗАКЕВИЧ П.П., ЧЕБОТАРЕВ В.П., КНЯЗЕВ А.А. 2004. Состояние и направления развития средств механизации предварительной очистки зерновороха в Республике Беларусь. В: Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: сборник статей Международной научно-практической конференции. Т. 1. Минск. БГАТУ с. 196–199.
- КОЦУБА В.И., КРУГЛЕНЯ В.Е. 2004. Обоснование конструкции комбинированной молотилки–сепаратора льновороха МСЛВ-2.5. В: Ресурсосбережение и экология в сельском хозяйстве: материалы VI международной конференции студентов, магистрантов и аспирантов. Горки. БГСХА с. 151–153.
- КРУГЛЕНЯ В.Е. (ред.) 2006. Разработка технологических требований проектирования комплекса машин и оборудования для переработки сырого льняного вороха: отчет о НИР. Рукопис No ГР 20065016. Горки. БГСХА сс. 35.
- МАКСИМОВ К.В. 2004. Повышение эффективности комбайновой уборки льна-долгунца путем разработки устройства для предварительной сепарации льновороха [online]. Кандидацка диссертация. Санкт Петербург. с. 207. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat. [Dostęp 15.02.2014]. Dostępny w Internecie: <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-kombainovoi-uborki-lna-dolguntsa-putem-razrabotki-ustroistva-dlya-p#ixzz2x3rIOCEA>
- ШАРШУНОВ В.А., КРУГЛЕНЯ В.Е., КУДРЯВЦЕВ А.Н., АЛЕКСЕЕНКО А.С., КОЦУБА В.И. 2010. Выбор конструктивно-технологической схемы сепарирующего устройства и параметров его решет. *Вестни НАН Беларусі. Серыя аграрных навук*. No 4. с. 120–125.
- ШАРШУНОВ В.А., КРУГЛЕНЯ В.Е., КУДРЯВЦЕВ А.Н., АЛЕКСЕЕНКО А.С., КОЦУБА В.И. 2012. Механико-технологические основы совершенствования послеуборочной обработки льновороха на семена. Монография. Горки. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Главное управление образования, науки и кадров, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. ISBN: 987-985-467-377-6 сс. 332.

Edmund Kamiński, Vjačeslav A. Šaršunov, Viktor E. Kruglenja

## PHYSICO-MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FLAX THRESHED MASS AND ITS COMPONENTS

### Summary

The efficiency of technological operations of flax growing for seed is affected by a lot of factors including the physical and mechanical properties of flax threshed mass (oakum). The aim of this study was to determine the values of the indicators characterizing the physical and mechanical properties of flax threshed mass (oakum) consisting of seed in bulk, boll of flax, stalks of flax straw and weeds obtained during the prethreshing operation of flax grown for seed. The scope of the research included measurements of absolute humidity of flax threshed mass components consisting of: seed in bulk, boll of flax, fiber flax and weed admixtures as well as the threshed mass density and susceptibility to deformation, flax boll friction coefficients, and the aerodynamic, thermal, and strength properties of the flax bolls, the fractional composition after threshing, and the lifting speed of the fluidization drying medium. There were also performed the classification of seed and admixtures according to their length, thickness and width. It was stated that the absolute humidity of the flax threshed mass ranged from 35 to 50% including: bulk seed – 15–27%, boll of flax – 18–58%, straw fraction – 30–65%, weed 45–80%. Oakum density amounted to about  $140 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Average values of the threshed mass friction coefficients amounted to: the internal one – 1.69; static – 0.83; dynamic – 0.50. Aerodynamic resistance of the air flow through the threshed mass depended on the layer thickness and grew up proportionally. Thermal characteristics of threshed mass concerned: the mass of water evaporated from 1 t (ratio of flax stalks to weeds  $\lambda = 2:1$ ) when compared to weed stalks of flax  $\lambda = 2:1$ ), which amounted to 300–470 kg and thermal inputs that amounted to  $2\,226\,500\text{--}3\,478\,400 \text{ kJ}\cdot\text{t}^{-1}$ . Thermal characteristics of threshed mass concerned: the mass of water evaporated from 1 t (at the ratio of flax stalks to weed  $\lambda = 2:1$ ), which amounted to 300–470 kg and heat inputs, which amounted to  $2\,226\,500\text{--}3\,478\,400 \text{ kJ}\cdot\text{t}^{-1}$  respectively. Destruction of flax bolls less matured was easier than destruction of well matured flax bolls. The composition of flax mass to be cleaned after complementary threshing was: 1.1–36.0% bolls, seeds bulk 28.0–67.2% 5.7–11.7% weed seeds, glums and dusty impurities 9.5–31.0%, stalks residues and mineral admixtures 1.9–6.2%.

**Key words:** flax, flax seed, flax harvesting, flax harvesters

#### Adres do korespondencji

prof. dr hab. Edmund Kamiński  
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy  
Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kłudzienku  
05-825 Grodzisk Mazowiecki  
tel. 22 724-07-03 wew. 112; e-mail: e.kaminski@itp.edu.pl

