

KAROL MIŃKOWSKI, ARTUR KALINOWSKI, ANNA KRUPSKA

## WPLYW SPOSOBU PRZYGOTOWANIA NASION ORAZ DŁAWIENIA MASY NASIENNEJ W PRASIE ŚLIMAKOWEJ NA PARAMETRY PROCESU TŁOCZENIA I CECHY JAKOŚCIOWE OLEJU LNIANEGO

### Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu wilgotności i rozdrobnienia nasion oraz stopnia dławienia masy nasiennej w prasie ślimakowej na wybrane parametry procesu tłoczenia i cechy jakościowe oleju lnianego. Badaniom poddano nasiona lnu wysokolinolenowej odmiany 'Bukoz'. Rozdrabnianie nasion wykonywano metodą płatkowania w dwuwalcowym młynie laboratoryjnym z gładkimi walcami. Oleje tłoczono w prasie ślimakowej UNO firmy Farmet. Stwierdzono, że wilgotność nasion, wielkość średnicy dyszy wylotowej prasy oraz płatkowanie nasion przed tłoczeniem wywierały istotny wpływ na parametry procesu tłoczenia i jakość oleju. Wzrost wilgotności nasion z 6,7 do 8,6 % skutkował wzrostem przelotowości prasy z 7,8 do 8,8 kg/h, zmniejszeniem wydajności tłoczenia z 81,6 do 71,9 %, obniżeniem temperatury oleju od 51 do 47 °C i wylotku od 69 do 66 °C, wzrostem zawartości wody w oleju z 0,39 do 0,43 % oraz zmniejszeniem zawartości zanieczyszczeń nierozpuszczalnych z 4,4 do 3,2 %. Odpowiedni poziom wilgotności nasion zawierał się pomiędzy 7,5 a 9 %. Zmniejszenie średnicy dyszy z 10 do 6 mm skutkowało obniżeniem przelotowości prasy z 11,8 do 8 kg/h, zwiększeniem wydajności tłoczenia z 69,5 do 77,6 %, wzrostem temperatury oleju od 45 do 51 °C i wylotków od 65 do 69 °C oraz zwiększeniem zawartości zanieczyszczeń nierozpuszczalnych z 3 do 3,3 %. Przy przerobieniu całych nasion korzystne było stosowanie dyszy o średnicy 8 mm. Płatkowanie nasion skutkowało wzrostem przelotowości prasy z 8 do 9,8 kg/h, wzrostem wydajności tłoczenia z 77,6 do 80,7 %, obniżeniem temperatury oleju od 51 do 44 °C a wylotków od 66 do 65 °C oraz wzrostem zawartości zanieczyszczeń nierozpuszczalnych z 3,3 do 4,6 %. Przy przerobieniu płatków korzystne było stosowanie dyszy o średnicy 6 mm.

**Słowa kluczowe:** nasiona lnu, olej lniany, tłoczenie na zimno, prasa ślimakowa, jakość oleju

### Wprowadzenie

Len zwyczajny (*Linum usitatissimum* L.) jest rośliną jednoroczną należącą do rodziny lnowatych (*Linaceae*). Ze względu na sposób użytkowania wyróżnia się dwie formy uprawne lnu: włóknisty i oleisty [2]. Nasiona lnu (siemię lniane) są błyszczące,

---

*Dr hab. K. Mińkowski, prof. nadzw., mgr inż. A. Kalinowski, mgr inż. A. Krupska, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego, Oddział Technologii Mięsa i Tłuszczu, ul. Jubilerska 4, 04-190 Warszawa. Kontakt: Karol.Minkowski@jpmt.waw.pl*

o barwie od brązowej do jasnożółtej, cechuje je przyjemny zapach i orzechowy smak. Nasiona zawierają około: 38 ÷ 45 % tłuszczu, 24 ÷ 25 % białka, 20 ÷ 28 % błonnika i 3,5 ÷ 4 % związków mineralnych [5]. Siemię lniane, całe lub w postaci mielonej, wykorzystywane jest na cele spożywcze, jako dodatek do wielu produktów, głównie w piekarnictwie [23]. Nasiona są źródłem cennego oleju, będącego w tej strefie klimatycznej najbogatszym roślinnym źródłem kwasu  $\alpha$ -linolenowego [5, 8].

Technologia pozyskiwania oleju lnianego zależy od kierunków jego wykorzystania. Klasyczna technologia wstępnego tłoczenia na gorąco i ekstrakcji rozpuszczalnikowej, po których często następuje etap rafinacji, z uwagi na niską trwałość oksydacyjną oleju nie jest możliwa do stosowania w przypadku jego wykorzystywania do celów spożywczych. Olej lniany spożywczy pozyskiwany jest zwykle poprzez tłoczenie na zimno, to znaczy, że temperatura oleju na wyjściu z prasy nie powinna przekraczać 50 °C [11]. Do tego celu stosuje się przede wszystkim prasy ślimakowe o ruchu ciągłym, a niekiedy prasy hydrauliczne [24]. W zależności od rodzaju i typu prasy konieczne są różne optymalne wartości wilgotności przerabianych nasion [9]. Alternatywne technologie to ekstrakcja wodna lub za pomocą ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym [10].

Jadalne oleje tłoczone na zimno mogą być wartościowe pod warunkiem, że nie zawierają niebezpiecznych dla zdrowia zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych, w tym mikotoksyn oraz substancji przyspieszających proces utleniania tłuszczów, takich jak proutleniająco działające metale (żelazo, miedź) czy barwniki chlorofilowe [24]. Dlatego też podstawowym warunkiem uzyskania dobrego oleju jest odpowiednia jakość nasion kierowanych do tłoczenia.

Nasiona przed tłoczeniem można poddawać procesom rozdrabniania oraz podgrzewania. Etap rozdrabniania wpływa na wydajność procesu tłoczenia, gdyż ułatwia wydobycie tłuszczu dzięki zniszczeniu struktury tkankowej nasion i łupiny, otwarciu części komórek, powiększeniu powierzchni wypływu oleju i zmniejszeniu oporu tkanki [9]. Szczególnie jest to ważne w przypadku nasion tłoczonych na zimno, gdy nie występuje drugi czynnik ułatwiający wydobycie tłuszczu, jakim jest wysoka temperatura [6]. Rozdrobnienie nasion aktywuje jednak enzymy komórkowe miazgi, szczególnie lipazę, peroksydazę i fosfolipazę. Zwiększenie powierzchni wypływu i częściowe uwolnienie oleju z komórek sprzyja również procesom oksydacji tłuszczu. Dlatego też rozdrobnione nasiona powinny być poddane jak najszybciej dalszemu przerobowi [9]. Obróbka termiczna nasion przed tłoczeniem zwiększa wydajność procesu tłoczenia, ale jednocześnie ma wpływ na cechy jakościowe i stabilność oksydacyjną uzyskiwanego oleju [6]. Z oczywistych względów zabieg ten nie jest możliwy do zastosowania przy otrzymywaniu olejów roślinnych metodą tłoczenia na zimno.

Celem pracy było określenie wpływu wilgotności i rozdrobnienia nasion oraz stopnia dławienia masy nasiennej w prasie ślimakowej na wybrane parametry procesu tłoczenia i cechy jakościowe oleju lnianego.

### Material i metody badań

Materiałem do badań były nasiona lnu nowej polskiej odmiany 'Bukoz', pochodzące z upraw ekologicznych, ze zbiorów 2011 r., dostarczone przez Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich z Poznania [2]. Stosowano nasiona całe oraz po ich rozdrobnieniu. Do rozdrabniania (płatkowania) stosowano dwuwalcowy młyn laboratoryjny o walcach gładkich i stałej szczelinie międzywalcowej 0,2 mm, firmy Gosmet, Bydgoszcz. Próbkę nasion o podwyższonej wilgotności uzyskano w wyniku nawilżenia nasion wyjściowych za pomocą wody destylowanej, starannego ich ręcznego wymieszania i przetrzymania w szczelnie zamkniętych torbach polietylenowych w temp. 8 °C przez 5 dni. Oleje tłoczono za pomocą prasy ślimakowej UNO-SE firmy Farnet a.s., Česká Skalice (Czechy) do tłoczenia na zimno, o nominalnej przelotowości  $9 \div 12$  kg/h. Tłoczenie prowadzono w zróżnicowanym ciśnieniu uzyskanym po zastosowaniu dysz wylotowych o średnicy 10, 8 i 6 mm. Temperaturę oleju oraz wylotku opuszczających prasę mierzono za pomocą bezdotykowego termometru laserowego Ray Temp 3, firmy ETI Ltd., Worthing, Wielka Brytania. Po tłoczeniu wszystkie oleje poddawano naturalnej dekantacji w ciągu 3 dni, a następnie analizowano w ciągu 7 dni od tłoczenia. Zawartość zanieczyszczeń oznaczano w olejach otrzymanych bezpośrednio po tłoczeniu. Doświadczenie przeprowadzono w dwóch seriach, a oznaczenia wykonywano w trzech powtórzeniach ( $n = 2 \times 3$ ).

W poszczególnych wariantach doświadczenia wagowo określano przelotowość prasy [kg/h], a także wydajność tłoczenia. Wydajność tłoczenia (W) obliczano na podstawie masy uzyskanego oleju, masy próbki nasion i oznaczonej procentowej zawartości oleju w nasionach.

$$W [\%] = \frac{\text{masa oleju} \times 100 \times 100}{\text{zawartość oleju} \times \text{masa nasion}} \quad (1)$$

W nasionach oznaczano zawartość: wody - metodą suszarkową [16] i tłuszczu - metodą Soxhleta [12]. W olejach po tłoczeniu oznaczano zawartość: zanieczyszczeń nierozpuszczalnych [15], wody i substancji lotnych [14] oraz liczbę kwasową [13], liczbę nadtlenkową [17], liczbę anizydynową [19], skład i zawartość kwasów tłuszczowych [18], zawartość karotenoidów [1], zawartość żelaza [21] i miedzi [22] oraz badano stabilność oksydacyjną w teście Rancimat [20]. Wskaźnik oksydacji Totox wyliczano z równania:

$$\text{Totox} = 2\text{LOO} + \text{LA} \quad (2)$$

gdzie: LOO – liczba nadtlenkowa (wyrażona w milirównoważnikach O<sub>2</sub>/kg, ang. meq/kg), LA – liczba anizydynowa.

Oznaczanie składu kwasów tłuszczowych wykonywano przy użyciu chromatografu gazowego firmy Hewlett-Packard, model 6890 II z oprogramowaniem ChemStation, wyposażony w detektor płomieniowo-jonizacyjny. Do rozdzielania estrów zastosowano wysokopolarną kolumnę kapilarną firmy SGE o symbolu BPX 70, długości 60 m, średnicy 0,25 mm i grubości fazy 0,25 µm. Analizy wykonywano w programowanej temperaturze: temp. kolumny wynosiła 140 °C (1 min), 10 °C/min do 165 °C (1 min), 0,5 °C/min do 180 °C (2 min), 1 °C/min do 210 °C (2 min), temp. dozownika: 210 °C; temperatura detektora wynosiła 250 °C, zastosowano dzielnikowe dozowanie próbki (50 : 1), gazem nośnym był hel.

Oznaczanie zawartości karotenoidów, w przeliczeniu na β-karoten, wykonywano metodą spektrofotometryczną poprzez pomiar absorbancji przy długości fali λ = 445 nm. Pomiar prowadzono za pomocą tintometru Lovibonda PFX 990 firmy Tintometer Ltd Anglia. Oznaczanie zawartości żelaza i miedzi wykonywano za pomocą spektrometru firmy Jobin Yvon, type 138 Ultrace, techniką emisyjnej spektrometrii atomowej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-AES). Próbki do badań poddawano wysokociśnieniowej mineralizacji w mineralizatorze Milestone 1200. Do mineralizacji stosowano stężony kwas azotowy(V). Stabilność oksydacyjną olejów oznaczano przy użyciu aparatu Rancimat firmy Methrom, typ 679, w temp. 100 °C.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej za pomocą programu Statgraphic Plus 5.1. Do szacowania różnic między wartościami średnimi zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA, test Duncana przy  $p \leq 0,05$ ). Do oceny zależności pomiędzy zmiennymi wykorzystano analizę regresji prostej liniowej.

## Wyniki i dyskusja

Nasiona lnu zawierały 41,9 % tłuszczu, ich wilgotność wynosiła 6,0 % i były praktycznie pozbawione zanieczyszczeń. Wyniki badań dotyczące wpływu wilgotności nasion na parametry procesu tłoczenia zamieszczono w tab. 1., a na jakość uzyskiwanego oleju – w tab. 2.

Przelotowość prasy była istotnie ( $p \leq 0,05$ ) zależna od wilgotności nasion poddawanych tłoczeniu. Była ona tym większa, im wyższa była ich wilgotność. Przy wzroście wilgotności z 6,7 do 8,6 % przelotowość prasy wzrastała o 12,8 % (tab. 1). Wydajność tłoczenia była także istotnie ( $p \leq 0,05$ ) zależna od wilgotności nasion i malała, gdy wilgotność wzrastała. W omawianym zakresie wilgotności nastąpiło zmniejszenie wydajności tłoczenia o 9,7 punktów procentowych. Niewiadomski [9] podaje, że wilgotność nasion oleistych wpływa na ich strukturę, sprężystość i opory tarcia występujące podczas działania sił mechanicznych w procesie tłoczenia i ma wpływ na przelotowość prasy i wydajność tłoczenia. W trakcie tłoczenia nasion o wilgotności 10,2 %

zaobserwowano wyraźne odstępstwa w przebiegu procesu tłoczenia. Ich skutkiem było znaczne zmniejszenie wydajności tłoczenia o 44,7 punktu procentowego przy równoczesnym wzroście przelotowości prasy o 43,8 % (tab. 1).

Tabela 1. Parametry tłoczenia nasion lnu w zależności od ich wilgotności.

Table 1. Flax seeds pressing parameters depending on moisture of seeds.

Wyszczególnienie Specification	Wilgotność nasion / Moisture of seeds [%]			
	6,7	7,7	8,6	10,2
	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$
Przelotowość prasy Capacity of press [kg/h]	7,8 <sup>a</sup> ± 0,1	8,2 <sup>b</sup> ± 0,1	8,8 <sup>c</sup> ± 0,1	12,0 <sup>d</sup> ± 0,3
Wydajność tłoczenia Pressing yield [%]	81,6 <sup>a</sup> ± 2,0	74,3 <sup>b</sup> ± 1,8	71,9 <sup>c</sup> ± 1,6	36,9 <sup>d</sup> ± 1,5
Temperatura oleju Oil temperature [°C]	51 <sup>a</sup> ± 1	48 <sup>b</sup> ± 1	47 <sup>b</sup> ± 1	43 ÷ 38
Temperatura wytlóków Cake temperature [°C]	69 <sup>a</sup> ± 1	68 <sup>a</sup> ± 1	66 <sup>b</sup> ± 1	66 ÷ 55

Objaśnienia: / Explanatory notes:

$\bar{x}$  – wartość średnia / mean value,  $s$  – odchylenie standardowe / SD – standard deviation, a - c wartości średnie oznaczone różnymi indeksami literowymi w rzędach różnią się statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ) / mean values denoted by different letter indicates in rows differ statistically significantly ( $p \leq 0.05$ ).

Stwierdzono istnienie wysokiej dodatniej korelacji ( $r = 0,94$ ) pomiędzy przelotowością prasy a wilgotnością nasion. Zależność przelotowości prasy ( $y$ ) od wilgotności nasion ( $x$ ) obrazuje równanie prostej regresji:

$$y = - 0,88 + 1,2145 x \quad (1)$$

Wysoka, ale ujemna korelacja ( $r = - 0,92$ ) zachodzi pomiędzy wydajnością tłoczenia a wilgotnością nasion. Zależność pomiędzy wydajnością tłoczenia ( $y$ ) a wilgotnością nasion ( $x$ ) obrazuje równanie prostej regresji:

$$y = 167,70 - 12,1588 x \quad (2)$$

Head i wsp. [7] podają, że przy tłoczeniu oleju w prasach ślimakowych w warunkach przemysłowych możliwe jest uzyskanie wydajności tłoczenia wynoszącej około 90 %, natomiast na niedużych urządzeniach i w małej skali wynosi ona zazwyczaj 60 ÷ 65 %, rzadko przekracza 80 %, i jest związana z wyjściową zawartością oleju w surowcu. Tłocząc olej z nasion lnu w prasie typu Komet, Zheng i wsp. [26] uzyskali wydajność od 70,1 do 85,7 % w zależności od wilgotności surowca. Z kolei Wroniak i wsp. [25] uzyskali znacznie mniejsze wydajności podczas tłoczenia oleju z nasion rzepaku – od 45 do 50 %. W porównaniu z wymienionymi wynikami można uznać, że tłoczenie nasion lnu za pomocą prasy typu Farnet było skuteczne, a wydajność tłocze-

nia duża i istotnie ( $p \leq 0,05$ ) zależna od wilgotności nasion. Temperatura oleju także była istotnie ( $p \leq 0,05$ ) zależna od wilgotności nasion. Przy wzroście wilgotności z 6,7 do 8,6 % zmniejszała się z 51 do 47 °C. Żeby olej zakwalifikować do tłoczonych na zimno, jego temperatura nie powinna przekraczać 50 °C [11]. Taki olej uzyskano przy przerobieniu nasion o wilgotności 7,7 oraz 8,6 %. Temperatura oleju wahała się wtedy w granicach 47 ÷ 48 °C, a temp. wytlóków od 66 do 68°C. Temperatura oleju tłoczonego z nasion o wilgotności 6,7 % w nieznaczny sposób przekroczyła dopuszczalny poziom, natomiast przy wilgotności nasion wynoszącej 10,2 % była ona najniższa (tab. 1). Pomimo korzystnych reżimów temperaturowych tłoczenie oleju z nasion o największej wilgotności byłoby nieracjonalne z uwagi na znaczne zmniejszenie wydajności tłoczenia – aż o 44,7 punktów procentowych.

Tabela 2. Wybrane cechy oleju w zależności od wilgotności nasion lnu.

Table 2. Selected characteristics of oil depending on moisture of flax seeds.

Wyszczególnienie Specification	Wilgotność nasion / Moisture of seeds [%]		
	6,7	7,7	8,6
	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$
Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych Content of insoluble impurities [%]	4,4 <sup>a</sup> ± 0,1	3,3 <sup>b</sup> ± 0,1	3,2 <sup>b</sup> ± 0,1
Zawartość wody i substancji lotnych Content of water and volatile compounds [%]	0,39 <sup>a</sup> ± 0,02	0,41 <sup>a,b</sup> ± 0,02	0,43 <sup>c</sup> ± 0,02
Liczba kwasowa Acid value [mg KOH/g]	2,12 <sup>a</sup> ± 0,04	2,21 <sup>b</sup> ± 0,05	2,24 <sup>b</sup> ± 0,05
Liczba nadtlenkowa Peroxide value [meq/kg]	0,72 <sup>a</sup> ± 0,07	0,71 <sup>a</sup> ± 0,08	0,70 <sup>a</sup> ± 0,06
Liczba anizydynowa Anisidine value [-]	0,32 <sup>a</sup> ± 0,04	0,32 <sup>a</sup> ± 0,03	0,30 <sup>a</sup> ± 0,05
Wskaźnik Totox Totox value [-]	1,76 <sup>a</sup> ± 0,09	1,74 <sup>a</sup> ± 0,09	1,70 <sup>a</sup> ± 0,08
Zawartość karotenoidów Content of carotenoids [mg/kg]	143,5 <sup>a</sup> ± 8,1	137,1 <sup>a</sup> ± 9,8	139,4 <sup>a</sup> ± 7,5
Zawartość żelaza Content of iron [mg/kg]	0,23 <sup>a</sup> ± 0,03	0,24 <sup>a</sup> ± 0,04	0,22 <sup>a</sup> ± 0,03
Zawartość miedzi Content of cuprum [mg/kg]	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Czas indukcji / Induction time [h] Test Rancimat at 100 [°C]	4,9 <sup>a</sup> ± 0,2	5,0 <sup>a</sup> ± 0,2	4,8 <sup>a</sup> ± 0,2

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as under tab. 1.

Wilgotność nasion w sposób istotny wpłynęła na takie cechy tłoczonego oleju, jak: zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych, zawartość wody i substancji lotnych oraz liczbę kwasową (tab. 2). Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych jest ważnym parametrem jakościowym olejów tłoczonych na zimno. Zanieczyszczenia te to przede wszystkim drobne fragmenty nasion przechodzące przez otwory cedzidła do oleju w trakcie tłoczenia. Stanowią one zbędny balast i podlegają usunięciu, zwykle na drodze sedymentacji i filtracji lub wirowania. Zwiększona ilość zanieczyszczeń wymaga większej powierzchni filtracyjnej i wpływa na podwyższenie strat oleju na etapie filtracji. Zmniejszenie wilgotności nasion sprzyja przechodzeniu zanieczyszczeń nierozpuszczalnych do oleju. Olej tłoczony z nasion o najmniejszej wilgotności (6,7 %) zawierał o 25 % więcej zanieczyszczeń niż olej pozyskany z nasion o wilgotności 7,7 %. Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w tłoczonych na zimno olejach konsumpcyjnych powinna wynosić poniżej 0,05 % [4].

W miarę wzrostu wilgotności nasion w sposób istotnie ( $p \leq 0,05$ ) zależny wzrastała zawartość wody i substancji lotnych w olejach. Duża zawartość wody jest niepożądana, ponieważ przyczynia się przede wszystkim do hydrolizy triacylogliceroli [9]. W badanych olejach nie przekraczała ona poziomu 0,5 % i była mniejsza niż podają Choo i wsp. [3]. Liczba kwasowa olejów wahała się od 2,12 do 2,24 KOH/g (tab. 2), przy dopuszczalnym dla olejów tłoczonych na zimno poziomie 4 mg KOH/g [4]. Wzrost wilgotności nasion z 6,7 do 7,7 % skutkował niewielkim, ale istotnie ( $p \leq 0,05$ ) zależnym podwyższeniem liczby kwasowej tłoczonego oleju. Wszystkie oleje charakteryzowały się niskim stopniem utlenienia, a ich liczba nadtlenkowa (LOO), informująca o zawartości pierwotnych produktów utlenienia, praktycznie była stała (tab. 2). Były to wartości zdecydowanie poniżej dopuszczalnego dla olejów tłoczonych na zimno poziomu 15 meq  $O_2$ /kg [4]. Zawartość wtórnych produktów utlenienia mierzonych za pomocą liczby anizydynowej (LA) także była na bardzo niskim poziomie (od 0,30 do 0,32) i w związku z tym wskaźnik Totox przyjmował niskie wartości.

W olejach oznaczono również zawartość karotenoidów, związków o działaniu przeciwutleniającym, a także metali o cechach proutleniających, a mianowicie Fe i Cu. Wilgotność nasion nie miała istotnego ( $p \leq 0,05$ ) wpływu na ich zawartość w badanych olejach. Zawartość karotenoidów kształtowała się na poziomie 140 mg/kg, porównywalnym z danymi literaturowymi [8]. Zawartość żelaza (od 0,22 do 0,24 mg/kg) była zdecydowanie mniejsza od danych literaturowych [3, 8], a zawartość miedzi poniżej progu wykrywalności metody. Świadczy to o dużej czystości nasion i starannym obchodzeniu się z nimi od zbioru do momentu przerobu. Wilgotność nasion nie miała istotnego ( $p \leq 0,05$ ) wpływu na stabilność oksydacyjną oleju mierzoną za pomocą testu Rancimat. Czas indukcji w temp. 100 °C wynosił od 4,8 do 5,0 h.

Wykorzystywana w badaniach prasa typu Farnet wyposażona jest w 3 wymienne dysze o różnej średnicy, dzięki czemu poprzez jej dławienie na wylocie możliwe było

uzyskanie zróżnicowanych ciśnień wewnętrznych i zmiennych warunków tłoczenia oleju. W tab. 3. przedstawiono wyniki badań prowadzonych w tym zakresie na nasionach o dwóch poziomach wilgotności – 7,7 i 8,6 %. W miarę zmniejszania się średnicy dyszy (z 10 do 6 mm) w sposób istotnie ( $p \leq 0,05$ ) zależny malała przelotowość prasy. Przy przerobieniu nasion o wilgotności 7,7 % spadek wynosił 14,6 %, a o wilgotności 8,6 % – aż 32,2 % (tab. 3). Równocześnie istotnie wzrastała wydajność tłoczenia, odpowiednio o 7,6 i 8,1 punktu procentowego. Stwierdzono istnienie dodatniej korelacji ( $r = 0,73$ ) pomiędzy przelotowością prasy ( $y$ ) a średnicą dyszy wylotowej ( $x$ ), a równanie regresji miało postać:

$$y = 3,73 + 0,6375x \quad (3)$$

Bardzo wysoka, ale ujemna korelacja ( $r = -0,98$ ) wystąpiła pomiędzy wydajnością tłoczenia ( $y$ ) a średnicą dyszy ( $x$ ). Zależność pomiędzy tymi wielkościami opisuje równanie regresji:

$$y = 167,70 - 12,1588x \quad (4)$$

Temperatura pozyskiwanego oleju w sposób istotny ( $p \leq 0,05$ ) zależała od średnicy dyszy. Przy zastosowaniu dyszy 6 mm temperatura oleju przekroczyła maksymalną dopuszczalną temperaturę 50 °C przy obu poziomach wilgotności nasion. Wyklucza to jej stosowanie przy tłoczeniu całych nasion lnu.

Temperatura wytlóków także wzrastała w sposób statystycznie istotny w przypadku obu poziomów wilgotności nasion, odpowiednio z 60 do 74 °C oraz z 65 do 69 °C (tab. 3). W miarę zmniejszania się średnicy dyszy (z 10 do 6 mm) w sposób istotnie ( $p \leq 0,05$ ) zależny wzrastała zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w oleju. Najwięcej było ich przy zastosowaniu dyszy o średnicy 6 mm i przerobieniu nasion o wilgotności 7,7 %. Zawartość wody i substancji lotnych ulegała niewielkim zmianom. Skład kwasów tłuszczowych badanych olejów i ich udział był typowy i charakterystyczny dla wysokolinolenowego oleju lnianego [5]. Oleje uzyskane w różnych warunkach tłoczenia nie różniły się pod tym względem pomiędzy sobą. Zmiana średnicy dyszy oraz nawilżanie nasion nie wpłynęły na skład kwasów tłuszczowych analizowanych olejów (tab. 4). Udział głównych kwasów był następujący: oleinowy (C18:1) – od 13,8 do 14,0 %, linolowy (C18:2) – od 14,4 do 14,6 %, linolenowy (C18:3) – od 62,0 do 62,3 %. W analizowanych olejach nie stwierdzono obecności izomerów trans kwasów tłuszczowych.

Olej lniany tłoczony na zimno otrzymywany jest zwykle z całych nasion, które dopiero w prasie ślimakowej podlegają rozdrabnianiu poprzez ich ścinanie, skręcanie i przesuwanie. Nowe technologie, proponujące obróbkę enzymatyczną nasion oleistych przed tłoczeniem, wymagają wcześniejszego ich rozdrobnienia [10]. Proces ten najczęściej odbywa się poprzez płatkowanie. W tab.5. zamieszczono wyniki dotyczące



wpływu płatkowania nasion na parametry procesu tłoczenia oraz jakości pozyskiwanego oleju, przy zastosowaniu dysz o średnicy 6 oraz 8 mm. Nasiona płatkowano bezpośrednio przed ich tłoczeniem w prasie ślimakowej.

Tabela 3. Parametry procesu tłoczenia i cechy oleju lnianego w zależności od średnicy dyszy wylotowej.  
Table 3. Pressing parameters and flax oil characteristics depending on outlet nozzle diameter.

Wyszczególnienie Specifications	Średnica dyszy / Wilgotność nasion Diameter of nozzle [mm] / Moisture of seeds [%]					
	Ø 10	Ø 8	Ø 6	Ø 10	Ø 8	Ø 6
	7,7			8,6		
	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$
Przelotowość prasy Capacity of press [kg/h]	8,9 <sup>a</sup> ± 0,1	7,8 <sup>b</sup> ± 0,1	7,6 <sup>c</sup> ± 0,1	11,8 <sup>A</sup> ± 0,2	8,9 <sup>B</sup> ± 0,2	8,0 <sup>C</sup> ± 0,1
Wydajność tłoczenia Pressing yield [%]	69,5 <sup>a</sup> ± 1,8	74,5 <sup>b</sup> ± 1,9	77,1 <sup>a</sup> ± 1,9	69,5 <sup>A</sup> ± 1,7	72,1 <sup>B</sup> ± 1,8	77,6 <sup>C</sup> ± 2,0
Temperatura oleju Oil temperature [°C]	45 <sup>a</sup> ± 1	48 <sup>b</sup> ± 1	52 <sup>c</sup> ± 1	45 <sup>A</sup> ± 1	47 <sup>B</sup> ± 1	51 <sup>C</sup> ± 1
Temperatura wytloków Cake temperature [°C]	60 <sup>a</sup> ± 1	68 <sup>b</sup> ± 1	74 <sup>c</sup> ± 1	65 <sup>A</sup> ± 1	66 <sup>B</sup> ± 1	69 <sup>C</sup> ± 1
Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych / Content of insoluble impurities [%]	3,2 <sup>a</sup> ± 0,1	3,2 <sup>a</sup> ± 0,1	3,7 <sup>b</sup> ± 0,1	3,0 <sup>A</sup> ± 0,1	3,2 <sup>B</sup> ± 0,1	3,3 <sup>B</sup> ± 0,1
Zawartość wody i substancji lotnych / Content of water and volatile compounds [%]	0,38 <sup>a</sup> ± 0,01	0,41 <sup>b</sup> ± 0,02	0,40 <sup>b</sup> ± 0,02	0,39 <sup>A</sup> ± 0,02	0,41 <sup>B</sup> ± 0,03	0,40 <sup>AB</sup> ± 0,02

Objaśnienia: / Explanatory notes:

$\bar{x}$  – wartość średnia / meanvalue, s – odchylenie standardowe / SD – standard deviation, a - c, A - C – wartości średnie oznaczone różnymi indeksami literowymi w rzędach, dla poszczególnych poziomów wilgotności, różnią się statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ) / mean values denoted by different letter indices in rows differ statistically significantly ( $p \leq 0.05$ ).

Dzięki wcześniejszemu spłatkowaniu nasion uzyskano istotny ( $p \leq 0,05$ ) wzrost przelotowości prasy, średnio o 20 %. Dzięki otwarciu większości komórek nasiennych płatkowanie przyczyniło się do uzyskania statystycznie istotnie większej wydajności tłoczenia – przy zastosowaniu dyszy o średnicy 6 mm o 3,0 % a przy Ø 8 mm – o 1,4 %. Największą wydajność tłoczenia, wynoszącą 80,7 %, osiągnięto przy zastosowaniu dyszy o średnicy 6 mm. Temperatura oleju otrzymanego w wyniku tłoczenia płatków była istotnie ( $p \leq 0,05$ ) niższa od temperatury oleju otrzymanego poprzez tłoczenie całych nasion. Przy zastosowaniu dyszy o Ø 6 mm obniżenie wynosiło aż 7 °C, a przy dyszy o Ø 8 mm - 4 °C. W przypadku wytloków ich temperatura także uległa

Tabela 4. Skład kwasów tłuszczowych analizowanego oleju lnianego.

Table 4. Fatty acids composition of flax oil analyzed.

Średnica dyszy / Wilgotność nasion Nozzle diameter [mm] / Moisture of seeds [%]	Kwasy tłuszczowe / Fatty Acids [%]											
	14:0	16:0	16:1	17:0	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	22:0	24:0
Ø 10	0,1	5,9	0,1	0,1	2,5	13,9	14,5	62,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Ø 8	0,1	5,8	0,1	0,1	2,5	13,9	14,4	62,3	0,1	0,2	0,1	0,1
Ø 6	0,1	5,9	0,1	0,1	2,5	14,0	14,5	62,0	0,1	0,2	0,1	0,1
6,7	0,1	5,9	0,1	0,1	2,6	14,0	14,5	62,1	0,1	0,2	0,1	0,1
7,7	0,1	5,9	0,1	0,1	2,4	13,8	14,4	62,4	0,1	0,2	0,1	0,1
8,6	0,1	5,9	0,1	0,1	2,5	13,8	14,6	62,1	0,1	0,2	0,1	0,1

Tabela 5. Parametry procesu tłoczenia i jakość olejów w zależności od płatkowania nasion lnu.

Table 5. Pressing parameters and oil quality depending on flaking of flax seeds.

Wyszczególnienie Specification	Rodzaj surowca / Kind of raw material – Średnica dyszy / Diameter of nozzle [mm]			
	Nasiona / Seeds		Płatki / Flakes	
	Ø 6		Ø 8	
	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$
Przelotowość prasy Capacity of press [kg/h]	8,0 <sup>a</sup> ± 0,1	9,8 <sup>b</sup> ± 0,2	8,9 <sup>A</sup> ± 0,1	10,6 <sup>B</sup> ± 0,2
Wydajność tłoczenia Pressing yield [%]	77,6 <sup>a</sup> ± 1,8	80,7 <sup>b</sup> ± 1,9	72,1 <sup>A</sup> ± 1,6	73,5 <sup>B</sup> ± 1,7
Temperatura oleju Oil temperature [°C]	51 <sup>a</sup> ± 1	44 <sup>b</sup> ± 1	47 <sup>A</sup> ± 1	43 <sup>B</sup> ± 1
Temperatura wyłoków Cake temperature [°C]	66 <sup>a</sup> ± 1	65 <sup>b</sup> ± 1	66 <sup>A</sup> ± 1	64 <sup>B</sup> ± 1
Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych Content of insoluble impurities [%]	3,3 <sup>a</sup> ± 0,1	4,6 <sup>b</sup> ± 0,1	3,2 <sup>A</sup> ± 0,1	4,2 <sup>B</sup> ± 0,1
Liczba kwasowa Acid value [mg KOH/g]	2,20 <sup>a</sup> ± 0,04	2,25 <sup>a</sup> ± 0,05	2,21 <sup>A</sup> ± 0,05	2,24 <sup>A</sup> ± 0,05
Liczba nadtlenkowa Peroxide value [meq O/kg]	0,80 <sup>a</sup> ± 0,03	0,82 <sup>a</sup> ± 0,04	0,81 <sup>A</sup> ± 0,02	0,84 <sup>A</sup> ± 0,03

Objaśnienia: /Explanatory notes:

$\bar{x}$  – wartość średnia / mean value,  $s$  – odchylenie standardowe / SD – standard deviation, a - c, A - C – wartości średnie oznaczone różnymi indeksami literowymi w rzędach, dla poszczególnych dysz, różnią się statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ) / mean values denoted by different letter indices in rows differ statistically significantly ( $p \leq 0.05$ ).

obniżeniu, w obu wariantach o 2 °C. Było to możliwe dzięki rozdrobnieniu nasion w oddzielnej operacji i zmniejszeniu wydatku energetycznego na ten cel w prasie ślimakowej. Niekorzystnym zjawiskiem był istotny wzrost ilości zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w olejach tłoczonych z płatków, przy zastosowaniu dyszy o  $\varnothing$  6 mm o 1,3 %, a o  $\varnothing$  8 mm o 1,0 %. Płatkowanie, oprócz otwarcia komórek nasiennych, może w niekorzystnych warunkach generować pewną ilość miazgi nasiennej. Powstaje ona także w prasie ślimakowej i w podwyższonych ilościach przechodzi do oleju. Płatkowanie nasion przed tłoczeniem nie miało istotnego wpływu na takie cechy jakościowe oleju, jak liczba kwasowa i liczba nadtlenkowa (tab. 5).

### Wnioski

1. Wilgotność nasion lnu odmiany 'Bukoz' ma istotny ( $p \leq 0,05$ ) wpływ na takie parametry procesu tłoczenia oleju lnianego, jak: przelotowość prasy, wydajność tłoczenia, temperatura oleju oraz wytlóków i wymaga precyzyjnego ustalenia przed ich przerobem. Odpowiedni poziom wilgotności nasion wynosi  $7,5 \div 9$  %. Wilgotność nasion wywiera istotny ( $p \leq 0,05$ ) wpływ na niektóre cechy jakościowe pozyskiwanego oleju. W miarę wzrostu ich wilgotności w sposób istotny ( $p \leq 0,05$ ) wzrasta zawartość wody i substancji lotnych w oleju, a maleje zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych.
2. Wielkość średnicy dyszy wylotowej prasy ma istotny ( $p \leq 0,05$ ) wpływ na jej przelotowość, wydajność tłoczenia, temperaturę oleju i wytlóków, zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych oraz wody i substancji lotnych w oleju. Najkorzystniejsze parametry procesu tłoczenia oleju z całych nasion lnu uzyskuje się przy zastosowaniu dyszy o średnicy 8 mm.
3. Płatkowanie nasion lnu przed tłoczeniem w prasie ślimakowej w sposób istotny ( $p \leq 0,05$ ) przyczynia się do podwyższenia przelotowości prasy i wydajności tłoczenia oraz obniżenia temperatury oleju i wytlóków. Niekorzystnym zjawiskiem jest istotny ( $p \leq 0,05$ ) wzrost zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w oleju. Płatkowanie nasion przed tłoczeniem powoduje, że najkorzystniejsze parametry procesu tłoczenia oleju uzyskuje się przy zastosowaniu dyszy wylotowej o średnicy 6 mm.

### Literatura

- [1] BS 684 -2.20.1977. Methods of analysis of fats and fatty acids. Determination of carotene in vegetable oils.

- [2] Burczyk H., Heller K., Praczyk M.: Hodowla i nasiennictwo lnu włóknistego i oleistego w Instytucie Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo*, 2009, **4**, 33-37.
- [3] Choo W.S., Birch J., Dufour J.P.: Physicochemical and characteristics of cold-pressed flaxseed oils. *J. Food Comp. Anal.*, 2006, **20**, 202-211.
- [4] Codex Stan 210-1999. Codex standard for named vegetable oils. Codex Alimentarius. Amendment 2005, 2011, 2013.
- [5] Daun J.K., Barthet V.J., Chomick T.L., Duguid S.: Structure, composition, and variety development of flaxseed In: *Flaxseed in human nutrition*, 2<sup>nd</sup> ed. By L. U. Thompson and S.C. Cunnae, AOCS Press, Champaign, Illinois, USA, 2003, pp.1-40.
- [6] Górecka A., Wroniak M., Krygier K.: Wpływ ogrzewania nasion rzepaku na jakość wyłoczonego oleju. *Rośliny Oleiste*, 2003, **24**, 567-576.
- [7] Head S.W., Swetman A.A., Hammonds T.W., Gordon A., Southwell K.H., Harris R.V.: *Small Scale Vegetable Oil Extraction*, 1995, NRI, University of Greenwich, Chatham, Kent, Great Britain, p.105.
- [8] Mińkowski K., Grześkiewicz S., Jerzewska M., Ropelewska M.: Charakterystyka składu chemicznego olejów roślinnych o wysokiej zawartości kwasów linolenowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2010, **6 (73)**, 146-157.
- [9] Niewiadomski H. *Technologia tłuszczów jadalnych*. WNT, Warszawa 1993, s. 464.
- [10] Oomah B.D.: Processing of flaxseed fiber, oil, protein and lignin [in]: *Flaxseed in human nutrition*, 2<sup>nd</sup> ed. By L. U. Thompson and S.C. Cunnae, AOCS Press, Champaign, Illinois, USA, 2003, pp. 1-40.
- [11] Panfilis F.D., Toschi T.G., Lercker G.: Quality control for cold-pressed oils, *Inform*, 1998, **9**, 212-221.
- [12] PN-EN ISO 659:1999. Nasiona oleiste. Oznaczanie zawartości oleju (Metoda odwoławcza).
- [13] PN-EN ISO 660:2010. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczenie liczby kwasowej i kwasowości.
- [14] PN EN ISO 662:2001. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie zawartość wody i substancji lotnych.
- [15] PN-EN ISO 663:2009. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie zawartości zanieczyszczeń nierozpuszczalnych.
- [16] PN-EN ISO 665:2004. Nasiona oleiste. Oznaczanie wilgotności i zawartości substancji lotnych.
- [17] PN-EN ISO 3960:2012. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie liczby nadtlencowej. Jodometryczne (wizualne) oznaczanie punktu końcowego.
- [18] PN-EN ISO 5508:1996. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Analiza estrów metylowych kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej.
- [19] PN-EN-ISO 6885:2008. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie liczby anizydynowej.
- [20] PN-ISO 6886:1997. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczenie stabilności oksydacyjnej. Test przyspieszonego utleniania.
- [21] PN-A-86939-2:1998. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie zawartości metali ciężkich metodą atomowej spektrometrii emisyjnej. Oznaczanie zawartości żelaza.
- [22] PN-A-86939-3:1998. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie zawartości metali ciężkich metodą atomowej spektrometrii emisyjnej. Oznaczanie zawartości miedzi.
- [23] Przybyła-Wilkes A.: Flax use up as health benefits better realized. *Prepared Foods*, 2007, **4 Suppl.**, 1-7.
- [24] Wroniak M., Krygier K.: Oleje tłoczone na zimno. *Przem. Spoż.*, 2006, **60 (7)**, 30-32, 34.
- [25] Wroniak M., Ptaszek A., Ratusz K.: Ocena wpływu warunków tłoczenia w prasie ślimakowej na jakość i skład chemiczny olejów rzepakowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2013, **1 (86)**, 92-104.

- [26] Zheng Y.L., Wiesenborn D.P., Tostenson K., Kangas N.: Screw pressing of whole and dehulled flaxseed for organic oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2003, **80** (10), 1039-1045.

### **EFFECT OF SEED PREPARATION METHOD AND SEED MASS CHOKING IN EXPELLER PRESS ON PRESSING PARAMETERS AND QUALITY CHARACTERISTICS OF FLAX OIL**

#### **S u m m a r y**

The objective of the research study was to determine the effect of moisture and comminution of seeds, and the degree of choking seeds mass in an expeller press on some selected pressing parameters and quality characteristics of flax oil. The research study comprised flax seeds of high linolenic "Bukoz" variety. The seeds tested were ground using a flaking method in a two roll laboratory mill with smooth rolls. The oils were pressed in an UNO expeller press, product of a Farmet company. It was found that the moisture of the seeds, the diameter of outlet nozzle of the press and the flaking of the seeds prior to pressing them had a significant effect on the pressing parameters and oil quality. The increase in the moisture of seeds from 6.7 % to 8.6 % caused the capacity of press to increase from 7.8 to 8.8 kg/h, the pressing yield to decrease from 81.6 % to 71.9 %, the oil temperature to decrease from 51 to 47 °C, the cake temperature to decrease from 69 to 66 °C, the content of water in oil to increase from 0.39 to 0.43 %, and the content of insoluble impurities to decrease from 4.4 to 3.2 %. The appropriate moisture level in seeds ranged between 7.5 and 9 %. Reducing the nozzle diameter from 10 mm to 6 mm caused the capacity of press to decrease from 11.8 to 8 kg/h, the pressing yield to increase from 69.5 to 77.6 %, the oil temperature to increase from 45 to 51 °C, the cake temperature to increase from 65 to 69 °C, and the content of insoluble impurities to increase from 3 to 3.3 %. The appropriate diameter size of nozzles used to process the whole seeds was 8 mm. The flaking of the seeds caused the capacity of press to increase from 8 to 9.8 kg/h, the yield of pressing to increase from 77.6 to 80.7 %, the temperature of oil to decrease from 51 to 44 °C and of cake to decrease from 66 to 65 °C, and the content of insoluble impurities to increase from 3.3 to 4.6 %. The suitable diameter of nozzle used to process flakes was 6 mm.

**Key words:** flax seeds, flax oil, cold pressing, expeller press, oil quality ☒