

Magdalena Roczowska,<sup>1,\*</sup> Przemysław Siemion,<sup>1</sup> Alicja Kaczmarek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Instytut Chemii, Ochrony Środowiska i Biotechnologii, Akademia im. Jana Długosza, 42-200 Częstochowa, Armii Krajowej 13/15, Polska;*

<sup>2</sup> *Instytut Biochemii Technicznej, Politechnika Łódzka, 90-924 Łódź, B. Stefanowskiego 4/10, Polska;*

\* e-mail: m.roczowska@wp.pl

## **Właściwości fizykochemiczne produktów enzymatycznego utleniania skrobi**

### **Streszczenie**

Reakcje enzymatyczne coraz częściej uzupełniają i zastępują wszelkie reakcje chemiczne. Są wysoce selektywne i precyzyjne, gdyż enzymy działają na konkretne grupy czy wiązania chemiczne. Przykładem enzymów wykorzystywanych w procesach utleniania są lakazy oraz peroksydazy – ligninowa (LiP) i manganozależna (MnP).

Niniejsza praca została poświęcona badaniom właściwości fizykochemicznych skrobi utlenionych enzymatycznie przy użyciu peroksydazy ligninowej (LiP) oraz manganozależnej (MnP). Badaniom zostały poddane utlenione skrobie kukurydziane oraz ziemniaczane.

Badania wykazały, że we wszystkich analizowanych próbkach doszło do utlenienia enzymatycznego. Produkty modyfikacji odznaczały się odmiennymi właściwościami fizykochemicznymi w stosunku do próbek natywnych skrobi tego samego gatunku. Zmianie uległa zdolność pochłaniania wody, rozpuszczalność w wodzie i trwałość w wysokich temperaturach.

**Słowa kluczowe:** skrobia; skrobia utleniona; utlenianie enzymatyczne; peroksydaza ligninowa (LiP); peroksydaza manganozależna (MnP)

### **Część teoretyczna**

Skrobia jest głównym polisacharydem żywnościowym. Występuje w roślinach w postaci okrągłych, owalnych lub nieregularnych ziarenek, których kształt, wielkość, skład oraz właściwości fizyczne i chemiczne zależą od gatunku rośliny. Zbudowana jest z dwóch frakcji – amylozy (20 %) i amylopektyny (80 %). Amyloza jest polimerem liniowym składającym się z kilkuset monomerów  $\alpha$ -D-glukozy połączonych wiązaniami  $\alpha$ -1,4-glikozydowymi. Amylopektyna z kolei posiada liczne rozgałęzienia, w których monomery glukozy połączone są wiązaniami  $\alpha$ -1,6-glikozydowymi.<sup>[12,27]</sup>

Skrobia jest białą substancją stałą. Nie posiada smaku ani zapachu. Jest nierozpuszczalna w zimnej wodzie. Natomiast w wodzie gorącej tworzy roztwór koloidalny, tak zwany kleik skrobiowy. Po ochłodzeniu ulega on zgęstnieniu. Dzieje się tak dlatego, że

skrobia ma silne właściwości higroskopijne. Pochłanianie wody przez ziarna skrobiowe następuje nawet w dość niskich temperaturach. Jest ono jednak na tym etapie prawie niezauważalne z uwagi na powolność procesu – ziarna nie zmieniają swojego rozmiaru i kształtu. Jednak w miarę wzrostu temperatury zaczynają one intensywnie wiązać wodę, w wyniku czego następuje znaczne zwiększenie ich objętości – w przypadku skrobi ziemniaczanej prawie stukrotnie.<sup>[20]</sup> Zachodzący proces nosi nazwę pęcznienia. Po osiągnięciu temperatury kleikowania, ziarna zaczynają tracić swoją dotychczasową postać i rozlewają się wskutek rozerwania między- i wewnątrzcząsteczkowych wiązań wodorowych. Woda wymywa amylozę z ziaren i tworzy z nią koloid. Zachodzi hydratacja – powstają nowe wiązania wodorowe między polimerem a wodą. W wyniku dalszego podgrzewania skrobi, dochodzi do sytuacji, w której wszystkie ziarna skrobiowe tracą swoją ziarnistą strukturę. Temperatura, w której to następuje nazywa się temperaturą kleikowania. Powyżej temperatury kleikowania skrobia nie wykazuje struktury ziarnistej. Otrzymany wodny kleik skrobiowy posiada dużą lepkość i jest lekko opalizujący.<sup>[23]</sup>

Wskutek kleikowania zmienia się struktura krystaliczna skrobi. Na początku staje się ona w większym stopniu bezpostaciowa, po czasie jednak jej struktura ulega uporządkowaniu, głównie poprzez odpowiednie rozmieszczenie cząsteczek amylozy – dzięki międzycząsteczkowym wiązaniom wodorowym tworzą się agregaty podwójnych helis. Są one nierozpuszczalne w wodzie i ulegają wydzielaniu z kleiku skrobiowego w postaci dendrytów (mikrokryształów). Zjawisko to nazywa się retrogradacją i jest procesem nieodwracalnym. Zachodzi z największą szybkością w temperaturze od -10 °C do +20 °C. Przy czym – im wyższa temperatura, tym proces retrogradacji zachodzi wolniej. Nie zachodzi ona już w temperaturze 60–70 °C. W przeciwieństwie do amylozy, amylopektyna nie retrograduje. Następnym etapem opisanego procesu jest znaczne zmniejszenie przestrzeni międzycząsteczkowych, w wyniku czego następuje wypychanie cząsteczek wody ze struktury żelu czy kleiku. Dochodzi do odwodnienia makrostruktury i wydzielania wody na powierzchni żelu (zjawisko synerezy).<sup>[17,20]</sup>

Skrobie różnego pochodzenia kleikują w odmiennych temperaturach – jest to wynik dostarczania różnych ilości energii, zależny od zawartości amylozy w ziarnie danej odmiany botanicznej. Im większa ilość amylozy, tym potrzeba więcej energii. Związane jest to ze zdolnością amylozy do tworzenia agregatów i wydzielania się z roztworów.<sup>[23]</sup>

Dzięki swoim właściwościom i łatwej dostępności oraz niskiej cenie skrobia jest szeroko stosowana w wielu gałęziach przemysłu. Naukowcy wciąż próbują znaleźć kolejne zastosowania dla tego biopolimeru. Metodami zmieniającymi zarówno strukturę, jak i właściwości fizykochemiczne skrobi są jej modyfikacje. Skrobię można modyfikować metodami fizycznymi, chemicznymi, enzymatycznymi lub poprzez kombinację tych metod. W czasie tych procesów dochodzi do niewielkich zmian w budowie cząsteczki. Dzięki temu zwiększa się jednak pula możliwych zastosowań powstałych produktów.<sup>[9,25,27]</sup>

Modyfikacje fizyczne polegają na zmianie makrostruktury ziaren skrobiowych bądź też spowodowaniu rozpadu łańcucha polisacharydu. Można do tego doprowadzić działając na skrobię czynnikami fizycznymi takimi jak: wysoka i niska temperatura, ciśnienie, ultradźwięki, promieniowanie. Najczęściej wykorzystywanymi metodami są: termoliza suchej skrobi oraz piroliza.<sup>[26,27]</sup>

Metody chemiczne polegają na wprowadzeniu do związku nowych grup chemicznych, zmieniających właściwości. Do najczęściej stosowanych metod chemicznych zalicza się hydrolizę, utlenianie, estryfikację i eteryfikację.<sup>[18,27,30]</sup> Są one wypierane jednak coraz

częściej przez metody enzymatyczne. Obecnie znana jest duża liczba opcji enzymatycznej modyfikacji skrobi. Są wysoce selektywne i precyzyjne, gdyż enzymy działają na konkretne grupy czy wiązania chemiczne. Mogą zachodzić w mniej drastycznych warunkach, tj. przy niższej temperaturze i mniejszym ciśnieniu, w środowisku nietoksycznym w stosunku do modyfikacji chemicznych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku stosowania produktów modyfikacji skrobi w przemyśle spożywczym. Skrobia modyfikowana jest bowiem oficjalnym dodatkiem do żywności. Dlatego celem modyfikacji enzymatycznych skrobi jest otrzymanie produktów nietoksycznych, o odpowiednich właściwościach reologicznych, spełniających przepisy dopuszczające je do użycia w przygotowywaniu produktów spożywczych oraz dostosowywana do wymagań aktualnych sposobów produkcji artykułów spożywczych i zasad racjonalnego żywienia.<sup>[4,27,28,30,31]</sup>

Do najważniejszych rodzajów modyfikacji enzymatycznych należą: hydroliza enzymatyczna oraz utlenianie enzymatyczne, które jest stosunkowo nowym typem przekształceń skrobi. Przykładem enzymów wykorzystywanych do utleniania są enzymy ligninolityczne, a w szczególności lakazy oraz peroksydazy – ligninowa (LiP) i manganozależna (MnP).<sup>[1-7,13-16,19,22,24,27-29,31]</sup>

Celem pracy było zbadanie właściwości fizykochemicznych produktów utleniania enzymatycznego skrobi kukurydzianej oraz ziemniaczanej przy zastosowaniu takich metod analizy jak: pomiar pH i przewodnictwa 1 %-owych wodnych zawiesin, badanie pochłaniania wody oraz rozpuszczalności w wodzie.

## Materiały i metody

Badaniom poddano próbki skrobi kukurydzianej i ziemniaczanej uprzednio poddane utlenianiu enzymatycznemu. Jako odnośniki posłużyły próbki natywnej skrobi kukurydzianej oraz ziemniaczanej (SIGMA-ALDRICH, Poznań, Polska).

Do utleniania próbek użyto enzymów takich jak: peroksydaza ligninowa (LiP) z *Phanerochaete chrysosporium* (Sigma) o aktywności 5,3 U/mg, oraz peroksydaza manganozależna (MnP) z *Nematoloma frowardii* (Sigma) o aktywności 0,24 U/mg. Zestawienie wszystkich próbek wraz z działającymi na nie enzymami, ich dawką i czasem reakcji przedstawiono w Tabeli 1.

## Oznaczanie zdolności pochłaniania wody i rozpuszczalności w wodzie<sup>[11]</sup>

We wcześniej zważonej próbówce wirówkowej odważono na wadze analitycznej 0,5 g skrobi utlenionej i zawieszono w 30 ml wody destylowanej. Następnie do próbki z zawiesiną wrzucono mieszadło i mieszano na mieszadle magnetycznym przez 30 minut. Po tym czasie próbkę odwirowano (9000 rpm, 20 minut). Supernatant zdekantowano do wcześniej wysuszonego do suchej masy i zważonego krystalizatora i suszono w 105 °C przez 24 h. Następnie próbkę ochłodzono do temperatury pokojowej i zważono. Probówkę z osadem pozostałym po zlanie supernatantu również zważono na wadze analitycznej. Oznaczenie wykonywano w temperaturze 25 °C i powtórzono trzykrotnie dla każdej z badanych próbek. Dokładność oznaczania wynosiła  $\pm 0,01$ .

**Tabela 1.** Warunki utleniania enzymatycznego skrobi kukurydzianej i ziemniaczanej.

Próbka	Czas inkubacji [h]	Enzym	Dawka enzymu [ $\mu$ kat/g skrobi]	pH
<b>Skrobia kukurydziana</b>				
K1	2	LiP	0,005	3,0
K2	4	LiP	0,005	3,0
K3	8	LiP	0,005	3,0
K4	16	LiP	0,005	3,0
K5	24	LiP	0,005	3,0
K6	2	MnP	0,005	4,5
K7	4	MnP	0,005	4,5
K8	8	MnP	0,005	4,5
K9	16	MnP	0,005	4,5
K10	24	MnP	0,005	4,5
<b>Skrobia ziemniaczana</b>				
Z1	2	LiP	0,00232	3,0
Z2	4	LiP	0,00232	3,0
Z3	6	LiP	0,00232	3,0
Z4	2	MnP	0,0083	4,5
Z5	4	MnP	0,0083	4,5
Z6	6	MnP	0,0083	4,5

Zdolność pochłaniania wody (SP) obliczono ze wzoru 1, natomiast rozpuszczalność w wodzie (WSI) ze wzoru 2:

$$SP = \frac{m_{p1} - m_{p0}}{m_{p2} - (m_{k1} - m_{k0})} \quad (\text{Równ. 1})$$

$$WSI = \frac{(m_{k1} - m_{k0}) \cdot 100}{m_{p2}} \quad (\text{Równ. 2})$$

gdzie  $m_{p1}$  – masa próbki z osadem [g];  $m_{p0}$  – masa pustej próbki [g];  $m_{p2}$  – masa próbki w przeliczeniu na suchą masę [g];  $m_{k1}$  – masa krystalizatora z osadem, po suszeniu [g];  $m_{k0}$  – masa pustego krystalizatora [g].

### Oznaczanie pH

Pomiary pH przeprowadzono za pomocą pH-metru (model HI223, Calibration Check Microprocessor pH Meter, HANNA INSTRUMENTS) dla 1 % roztworów skrobi

kukurydzianej (natywnej oraz utlenionej) oraz ziemniaczanej (natywnej oraz utlenionej) w trzech powtórzeniach dla każdej próbki. Dokładność oznaczania wynosiła  $\pm 0,1$ .

#### Oznaczanie przewodnictwa

Przewodnictwo zostało zmierzone za pomocą konduktometru (laboratoryjny przyrząd wielofunkcyjny firmy Elmetron, model CX-505) dla 1 % roztworów skrobi kukurydzianej (natywnej oraz utlenionej) oraz ziemniaczanej (natywnej oraz utlenionej) w trzech powtórzeniach dla każdej próbki. Dokładność oznaczania wynosiła  $\pm 0,1$ .

### **Wyniki badań**

#### Zdolność pochłaniania wody i rozpuszczalność w wodzie

W Tabeli 2 zebrano obliczone za pomocą wzorów 1 i 2 wartości zdolności pochłaniania wody (SP) oraz rozpuszczalności w wodzie (WSI) dla próbek utlenionej skrobi kukurydzianej i ziemniaczanej.

Wyniki przedstawione na Rysunkach 1 i 2 pokazują, że zdolność pochłaniania wody przez próbki utlenionej enzymatycznie skrobi kukurydzianej nieznacznie zmniejszyła się w porównaniu ze skrobią natywną (KN). Jedynie próbka K5 charakteryzowała się niewiele wyższą zdolnością pochłaniania wody. Najmniejszą wartość SP wykazywały próbki K7 oraz K10 utlenione za pomocą enzymu MnP. Na podstawie uzyskanych wyników zdolności pochłaniania wody można stwierdzić, że największa zmiana zaszła w czasach odpowiednio 4 i 24 h.

Rozpuszczalność w wodzie preparatów utlenionej skrobi kukurydzianej była wyższa od rozpuszczalności natywnej skrobi kukurydzianej. Jedynie próbka K2 (utleniana enzymem LiP w czasie 4h) wykazywała mniejszą rozpuszczalność, a próbka K5 (utleniana przez LiP w czasie 24 h) wartość taką samą.

Najwyższą rozpuszczalność wykazywały próbki K8 i K7 (utleniane enzymem MnP w czasach odpowiednio 8 i 4 h) oraz próbka K1 (utleniana przez LiP w czasie 2h).

Reasumując można stwierdzić, że wzrost rozpuszczalności próbek skrobi po utlenieniu enzymatycznym powodował zmniejszenie zdolności pochłaniania wody przez te próbki.

Wyniki przedstawione na Rysunkach 3 i 4 pokazują, że zdolność pochłaniania wody przez próbki utlenionej enzymatycznie skrobi ziemniaczanej zwiększyła się w stosunku do natywnej skrobi ziemniaczanej (ZN). Jedynie próbka Z4 (utleniana przez MnP przez 2 h) charakteryzowała się niewiele niższą zdolnością pochłaniania wody. Największą SP wykazywała próbka Z5 (utleniana przez MnP w czasie 4 h).

Rozpuszczalność w wodzie preparatów utlenionej skrobi ziemniaczanej (Rys. 3 i 4) była niższa w porównaniu ze skrobią natywną. Jedynie próbka K1 (utleniana enzymem LiP w czasie 2 h) była nieco lepiej rozpuszczalna w wodzie.

Rozpuszczalność skrobi utlenionych za pomocą enzymu LiP była wyższa niż próbek skrobi utlenionych za pomocą enzymu MnP.

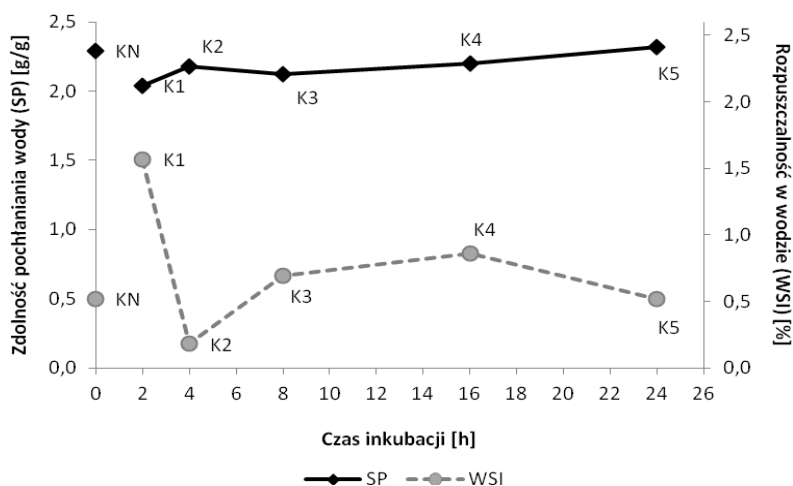
**Tabela 2.** Zdolność pochłaniania wody i rozpuszczalność w wodzie utlenionych skrobi kukurydzianej i ziemniaczanej.

Próbka	Enzym	Czas inkubacji [h]	Zdolność pochłaniania wody – SP [g/g]	Rozpuszczalność w wodzie – WSI [%]
<b>Skrobia kukurydziana</b>				
KN (natywna)	-	-	2,29	0,52
K1	LiP	2	2,04	1,57
K2	LiP	4	2,18	0,18
K3	LiP	8	2,12	0,69
K4	LiP	16	2,20	0,86
K5	LiP	24	2,32	0,52
K6	MnP	2	2,19	0,83
K7	MnP	4	1,92	1,58
K8	MnP	8	2,17	1,99
K9	MnP	16	2,05	1,13
K10	MnP	24	1,87	1,26
<b>Skrobia ziemniaczana</b>				
ZN (natywna)	-	-	2,07	0,76
Z1	LiP	2	2,09	0,79
Z2	LiP	4	2,09	0,58
Z3	LiP	6	2,14	0,38
Z4	MnP	2	2,04	0,37
Z5	MnP	4	2,42	0,10
Z6	MnP	6	2,17	0,14

Na podstawie uzyskanych wyników (Rys. 3 i 4) można dojść do wniosku, że im większa była zdolność pochłaniania wody przez próbki, tym ich rozpuszczalność w wodzie była niższa. Podobna zależność występowała w przypadku skrobi kukurydzianej, z tym że pochłanianie wody malało, a rozpuszczalność rosła.

#### Analiza wyników pomiarów pH i przewodnictwa

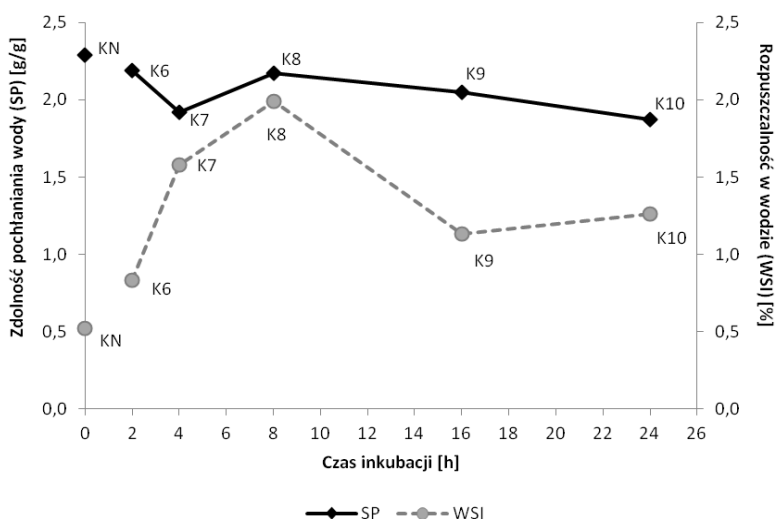
W Tabeli 3 zebrano wyniki pomiarów przewodnictwa i pH dla 1 %-owych wodnych zawiesin próbek utlenionych skrobi kukurydzianej i ziemniaczanej.



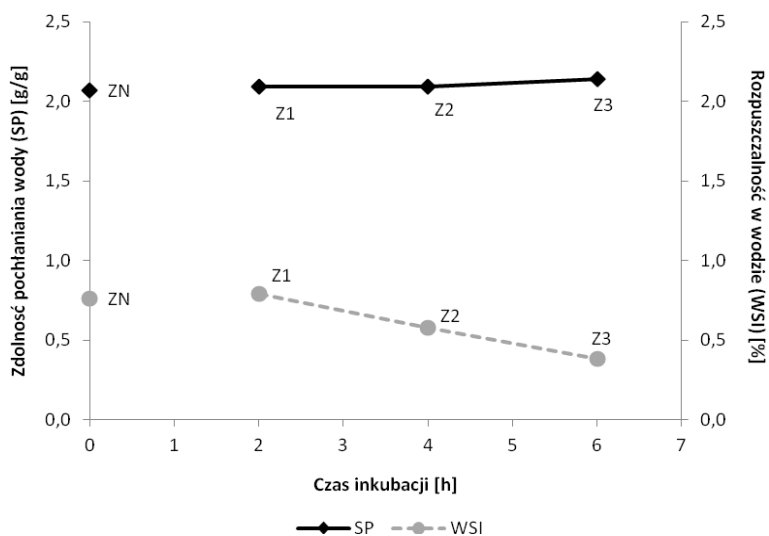
**Rysunek 1.** Zdolność pochłaniania wody i rozpuszczalność w wodzie utlenionych za pomocą enzymu LiP skrobi kukurydzianych.

pH próbek utlenionej skrobi kukurydzianej było niższe od pH skrobi natywnej (KN). Najniższą wartość pH wśród preparatów utlenionej skrobi kukurydzianej wykazywała próbka K2 (utleniana przez LiP w czasie 4 h).

Próbki utleniane za pomocą enzymu LiP wykazywały niższe wartości pH w stosunku do próbek utlenianych za pomocą enzymu MnP. Wykazywały wyższy stopień utlenienia.



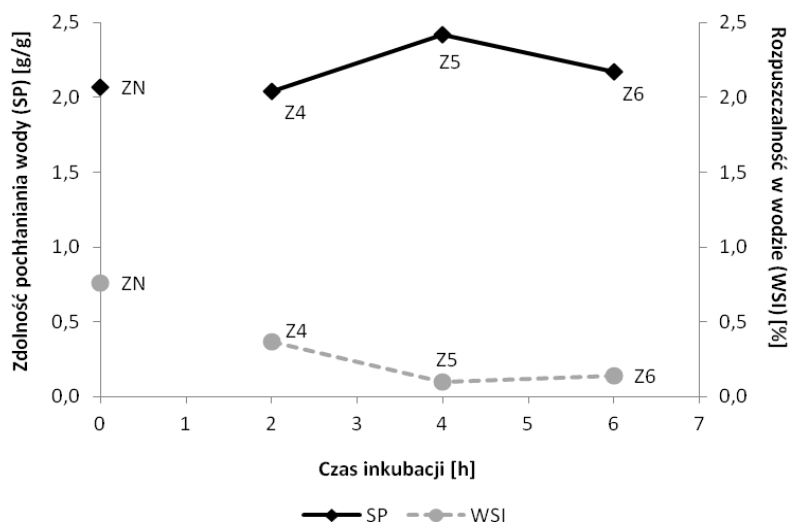
**Rysunek 2.** Zdolność pochłaniania wody i rozpuszczalność w wodzie utlenionych za pomocą enzymu MnP skrobi kukurydzianych.



**Rysunek 3.** Zdolność pochłaniania wody i rozpuszczalność w wodzie utlenionych za pomocą enzymu LiP skrobi ziemniaczanych.

Przewodnictwo 1 %-owych wodnych zawiesin próbek utlenionej skrobi kukurydzianej było wyższe od przewodnictwa zmierzonego dla skrobi natywnej. Największym przewodnictwem charakteryzowały się próbki utleniane przy użyciu enzymu LiP.

pH próbek utlenionej skrobi ziemniaczanej było niższe od pH natywnej skrobi ziemniaczanej.



**Rysunek 4.** Zdolność pochłaniania wody i rozpuszczalność w wodzie utlenionych za pomocą enzymu MnP skrobi ziemniaczanych.



**Tabela 3.** Wartości pH i przewodnictwa 1 %-owych wodnych zawiesin utlenionych skrobi kukurydzianej i ziemniaczanej.

Próbka	Enzym	Czas inkubacji [h]	pH	Przewodnictwo [ $\mu$ S]
<b>Skrobia kukurydziana</b>				
KN (natywna)	-	-	5,3	8,1
K1	LiP	2	4,9	11,6
K2	LiP	4	4,4	13,2
K3	LiP	8	4,5	13,3
K4	LiP	16	4,6	14,2
K5	LiP	24	4,6	11,6
K6	MnP	2	5,1	9,5
K7	MnP	4	4,9	9,6
K8	MnP	8	5,1	9,8
K9	MnP	16	4,9	9,5
K10	MnP	24	5,1	9,7
Woda (W)			6,5	2,2
<b>Skrobia ziemniaczana</b>				
ZN (natywna)	-	-	6,3	6,02
Z1	LiP	2	5,5	6,0
Z2	LiP	4	4,4	6,8
Z3	LiP	6	5,5	5,7
Z4	MnP	2	4,3	6,18
Z5	MnP	4	4,4	5,5
Z6	MnP	6	4,4	7,1
Woda (W)			6,5	2,2

Wartości przewodnictwa potwierdziły, że w próbkach Z6, Z2 oraz Z4 zaszło utlenianie. Przewodnictwo tych próbek było wyższe od przewodnictwa zmierzonego dla natywnej skrobi ziemniaczanej.

Z porównania wyników pH i przewodnictwa można wywnioskować, że obniżeniu pH 1 % wodnych roztworów próbek skrobi utlenionych towarzyszyło zwiększenie przewodnictwa elektrolitycznego.

### Wnioski

1. Analizy potwierdziły, że zmiany struktury skrobi kukurydzianej towarzyszące procesami utleniania doprowadziły do zmniejszenia stopnia pochłaniania przez nią wo-

dy oraz do zwiększenia jej rozpuszczalności w wodzie. W przypadku skrobi ziemniaczanej zaszedł proces odwrotny. Rozpuszczalności utlenionych produktów uległy pogorszeniu, a wartości pochłaniania wody – zwiększyły się.

2. pH badanych próbek zmniejszyło się w porównaniu do ich natywnych odpowiedników, natomiast wartości przewodnictwa zwiększyły się, co potwierdza zajście procesu utleniania skrobi i towarzyszące temu procesowi zmiany strukturalne i fizykochemiczne.

### Literatura:

- [1] Antecka A., Bizukojć M., Ledakowicz S., *Biotechnologia*, **2008**, *81*, 90-101.
- [2] Bednarski W., Rejs A., *Biotechnologia żywności*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, **2003**.
- [3] Bielecki S., *Enzymatic Conversions of Carbohydrates* [w:] *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*, P. Tomasik (red.), CRC Press, Boca Raton – London – New York – Washington, **2004**, s. 131-157.
- [4] Bloomer S., Adlercreutz P., Mattiasson B., *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **1990**, *67*, 519-526.
- [5] Boruch M., *Starch-Starke*, **1985**, *37*, 91-98.
- [6] <http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/agraria/AGR062/AGR062.htm> [dostęp: czerwiec 2012].
- [7] Couto S.R., Herrera J.L.T., *Biotechnol. Adv.*, **2006**, *24*, 500-513.
- [8] Flis K., Prochner A., *Technologia gastronomiczna z towaroznawstwem*, cz. 2, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, **1983**.
- [9] Fortuna T., Gałkowska D., Juszczyk L., *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, **2004**, *3*, 21-32.
- [10] Fortuna T., *Żywn. Technol. Jakość*, **1995**, *1*, 3-7.
- [11] Gałachowski A., *Zesz. Nauk. AR Wroc., Technol. Żyw.*, **1998**, *12*, 117-124.
- [12] Gawęcki J., *Współczesna wiedza o węglowodanach*, Wydawnictwo AR, Poznań, **1998**.
- [13] Glenn J.K., Akileswaran L., Gold M.H., *Arch. Biochem. Biophys.*, **1986**, *251*, 688-696.
- [14] Gold M.H., Wariishi H., Valli K., *Extracellular peroxidases involved in lignin degradation by the white rot basidiomycete Phanerochaete chrysosporium*, [w:] *Biocatalysis in Agricultural Biotechnology*, Whitaker J., Sonnet P. (red.), Toronto, Ontario, Canada, American Chemical Society, **1989**, s. 127-140.
- [15] Harmon R.E., Gupta S.K., Johnson J., *Starch*, **1971**, *23*, 197-199.
- [16] Hatakka A., *Biopolymers*, **2001**, *1*, 129-180.
- [17] [www.cbimo.zut.edu.pl/download/dydaktyka/chemia\\_zywnosci\\_tz\\_iii/cwiczenia\\_laboratoryjne-%20%20%20%20%20Skrobia,%20%C4%87w.%209.pdf](http://www.cbimo.zut.edu.pl/download/dydaktyka/chemia_zywnosci_tz_iii/cwiczenia_laboratoryjne-%20%20%20%20%20Skrobia,%20%C4%87w.%209.pdf) [dostęp: czerwiec 2012].
- [18] Kapuśniak J., Jochym K., Bajera K., Bajera D., *Przemysł Chemiczny*, **2011**, *90*, 1521-1526.
- [19] Kłyszewko-Stefanowicz L., *Cytobiochemia. Biochemia niektórych struktur komórkowych*, PWN, Warszawa, **1995**.
- [20] Konarzewska M., *Technologia gastronomiczna z towaroznawstwem*, cz. 2, Wydawnictwo REA s.j., Warszawa, **2008**.
- [21] Kuakpetoon D., Wang Y.-J., *Carbohydrate Research*, **2008**, *343*, 90-100.
- [22] MacGregor E.A., Janecek, S., Svensson, B., *Biochim. Biophys. Acta*, **2001**, *1546*, 1-20.
- [23] [kchitp.ch.pw.edu.pl/upl/bmp\\_lab\\_1\\_modyfikacja\\_skrobi\\_ziemniaczanej.pdf](http://kchitp.ch.pw.edu.pl/upl/bmp_lab_1_modyfikacja_skrobi_ziemniaczanej.pdf) [dostęp: czerwiec 2012].
- [24] Polak J., Jarosz-Wilkolażka A., *Biotechnologia*, **2007**, *79*, 82-94.
- [25] Röper H., *Stärke*, **2002**, *54*, 89-99.
- [26] Siemion P., Kapuśniak J., *Przemysł Chemiczny*, **2011**, *90*, 1000-1005.
- [27] Sikorski Z., *Chemia żywności*, t. 2, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, **2007**.
- [28] Słomińska L., *Przem. Spoż.*, **1997**, *51*, 9-12.

- [29] Szewczyk R., Długoński J., *Biotechnologia*, **2007**, 76, 121-134.
- [30] Tomasiak P., *Przem. Spoż.*, **2000**, 54, 16-18.
- [31] Virto H.D. *et al.*, *Enzyme Microb. Technol.*, **1994**, 16, 61-65.

Magdalena Roczowska,<sup>1,\*</sup> Przemysław Siemion,<sup>1</sup> Alicja Kaczmarek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Instytut Chemii, Ochrony Środowiska i Biotechnologii, Akademia im. Jana Długosza, 42-200 Częstochowa, Armii Krajowej 13/15, Polska;*

<sup>2</sup> *Instytut Biochemii Technicznej, Politechnika Łódzka, 90-924 Łódź, B. Stefanowskiego 4/10, Polska;*

\* *e-mail: m.roczowska@wp.pl*

## **Physicochemical properties of products of enzymatic oxidation of starch**

### **Abstract**

The enzymatic reactions increasingly replace and complement any chemical reactions. They are highly selective and precise, because the enzymes act on specific groups or chemical bonds. The examples of enzymes applied in the oxidation processes are laccases, lignin (LiP) and manganese (MnP) peroxidases.

This work has been devoted to the studies on physicochemical properties of the enzymatically oxidized starches using lignin (LiP) and manganese (MnP) peroxidases. The studies were performed on oxidized corn and potato starches.

The studies have shown that the enzymatic oxidation had occurred in all of the analyzed samples. The products of modification showed different physicochemical properties in comparison to native starch samples of the same species. The water absorption capacity, water solubility and stability at high temperatures have been altered.

**Keywords:** starch; oxidized starch; enzymatic oxidation; lignin peroxidase (LiP); manganese peroxidase (MnP)