

*Małgorzata Piecyk, Elwira Worobiej, Marzena Rębiś, Żaneta Rębiś*

## ZAWARTOŚĆ I CHARAKTERYSTYKA SKŁADNIKÓW ODŻYWCZYCH W PRODUKTACH Z SZARŁATU\*)

Zakład Oceny Jakości Żywności Wydziału Nauk o Żywności  
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
Kierownik: prof.dr hab. *M. Obiedziński*

*W pracy określano zawartość skrobi, białka i ich strawność oraz zawartość azotu niebiałkowego w produktach z szarłatu. Oznaczono również zawartość tłuszczu i popiołu. Strawność skrobi i białek produktów z szarłatu była wysoka, co wiąże się m.in. ze stosunkowo niską zawartością naturalnych substancji nieodżywczych. Najwyższą podatnością na proteolizę odznaczały się białka poppingu, co wynikało ze stosowanych podczas jego produkcji zabiegów termicznych, przyczyniających się przede wszystkim do inaktywacji inhibitora tripsyny.*

Hasła kluczowe: szarłat, białka, skrobia, strawność, tłuszcz, popiół.  
Key words: amaranth, protein, starch, digestibility, fat, ash.

Nasiona szarłatu cechują się cennymi właściwościami wynikającymi z korzystnego składu. Dużą zaletą amarantusa w porównaniu z innymi roślinami jest wysoka zawartość białka zasobnego w aminokwasy egzogenne, a tym samym niezwykle wartościowego dla diety ludzkiej (1). Jego ilość w nasionach szarłatu waha się w granicach od 13 do 21% s.m. (2). W białku tym obok stosunkowo wysokiej zawartości lizyny, stanowiącej około 6% wszystkich aminokwasów, która jest aminokwasem ograniczającym w zbożach, występują także stosunkowo wysokie poziomy tryptofanu (ok. 1%). Jakość żywienia białek zależy jednak nie tylko od profilu ich aminokwasów, ale również od ich strawności, na którą wpływa rodzaj procesów, jakim są poddawane oraz obecność składników wykazujących działanie antyodżywcze w stosunku do białek. Strawność białek może być obniżana przez obecność inhibitorów proteaz głównie tripsyny, ale częściowo ulega poprawie po obróbce termicznej co związane jest z denaturacją białek i inaktywacją inhibitorów (3). Strawność *in vitro* białek pochodzących z nasion amarantusa wynosi średnio ok. 74% (4). Jest to stosunkowo wysoka wartość i w połączeniu z bardzo korzystnym składem aminokwasowym sprawia, że białka szarłatu mają wysoką wartość żywieniową, lepszą niż białka zbóż.

W grupie roślin zbożowych amarantus wyróżnia się najwyższą zawartością tłuszczu, wynoszącą 6–7%. Głównym składnikiem tłuszczu nasion amarantusa są nienasycone kwasy tłuszczowe, przede wszystkim kwas linolowy i oleinowy. Udział

---

\*) Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego 504-09280017.

kwasów nienasyconych wynosi ok. 75% (5). Również zawartość popiołu w nasionach szarłatku jest wysoka: wynosi 2,5–4,4% s.m. i przewyższa popularne zboża, takie jak: pszenica, kukurydza czy ryż (6).

W nasionach amarantusa zawartość skrobi waha się w zakresie 58–66%. Skrobia ta dznacza się bardzo wysoką strawnością, która wynika z niskiej zawartości amylozy i małej średnicy ziarenek (6).

Zawartość błonnika pokarmowego waha się w granicach od 7,7–16,9% (7). Jego ilość jest skorelowana z opóźnieniem trawienia żywności, co wpływa na obniżenie odpowiedzi glikemicznej. Jednak taka funkcja błonnika związana jest z jego strukturą w nasionach. Badania wskazują, że procesy technologiczne (mielenie, obróbka termiczna) mogą niszczyć tę strukturę co prowadzi do wzrostu odpowiedzi glikemicznej.

Jak widać przeprowadzono wiele badań dotyczących charakterystyki nasion szarłatku, które wskazują na ich wysoką wartość odżywczą. Natomiast mało prac poświęcono przetworom z nich otrzymywanym zwłaszcza tych poddanych obróbce termicznej (np. popping), ułatwiającej ich wykorzystanie przez konsumenta. Dlatego celem pracy było określenie zawartości związków odżywczych w produktach otrzymanych z nasion szarłatku (mąka, płatki, popping).

## MATERIAŁ I METODY

Materiałem doświadczalnym były produkty handlowe pochodzące od jednego producenta otrzymane z nasion szarłatku, gatunku *Amaranthus cruentus*, tj.: mąka, płatki oraz popping.

Wilgotność, popiół i zawartość azotu (metodą *Kjeldahla*) oznaczano metodami znormalizowanymi. W celu oznaczenia azotu niebiałkowego przeprowadzono ekstrakcję białek (60 min) z rozdrobnionych produktów 0,01% fosforanowym roztworem buforowym o pH 7,0 (stosunek produktu do rozpuszczalnika 1:50). Następnie po odwirowaniu i wytrąceniu białek z supernatantów kwasem trichlorooctowym o końcowym stężeniu 12,5% oznaczano azot niebiałkowy metodą *Kjeldahla*.

Elektroforetyczny rozdział białek przeprowadzono na 10% żelu poliakrylamidowym z SDS w komorze 2050 Migdet (firmy LKB) w układzie wertykalnym. Strawność białek oznaczano metodą wieloenzymatyczną *in vitro* (8) stosując: trypsynę 18,300 jednostek/mg białka (SIGMA T-134), chymotrypsynę 54 jednostki/mg białka (SIGMA C-4129) oraz peptydazę 115 jednostek/mg substancji (SIGMA P-7500).

Zawartość skrobi oznaczano polarymetrycznie, natomiast zawartość amylozy metodą *Morissona i Laigneleta* (9). Strawność skrobi *in vitro* oznaczano metodą *Muir* i *O'Dea* (10). Do hydrolizy skrobi stosowano ślinę oraz amyloglukozydazę, pankreatynę i Termamyl 120L. Po hydrolizie wyliczano stosunek skrobi łatwo trawionej i wolnej glukozy do skrobi całkowitej i wolnej glukozy. Końcową wartość wyrażano w procentach. Uwolnioną glukozę podczas trawienia oznaczano po reakcji z kwasem dinitrosalicylowym mierząc absorbancję na spektrofotometrze (Shimadzu, UV-1201V) przy 550 nm.

## WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Zawartość popiołu całkowitego w mące i poppingu kształtowała się na takim samym poziomie (3,4% s.m.), natomiast w płatkach była na nieco niższym (3,1% s.m.) (tab. I). Jest to prawdopodobnie związane ze stosowaniem obróbki nasion przy wytwarzaniu płatków zbożowych, w wyniku której część frakcji okrywowo-zarodkowej, skupiającej w przypadku szarłat większość składników odżywczych nasienia (m.in. substancje mineralne), zostaje usunięta (11).

Tabela I. Zawartość popiołu i tłuszczu w produktach z szarłat

Table I. Ash and fat content in amaranth products

Produkt	Zawartość s.m. (%)	Zawartość popiołu całkowitego (% s.m.)	Zawartość tłuszczu (% s.m.)
Mąka	91,09 ± 0,08* A**	3,39 ± 0,06 A	7,91 ± 0,36 A
Płatki	89,14 ± 0,05 B	3,14 ± 0,01 B	6,88 ± 0,20 B
Popping	97,38 ± 0,02 C	3,37 ± 0,01 A	6,35 ± 0,76 B

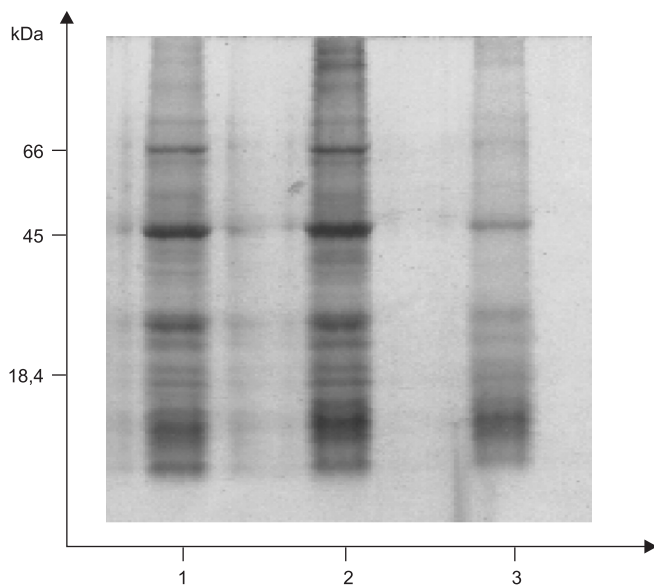
\* ± odchylenie standardowe; \*\* różne litery przy wartościach w tej samej kolumnie oznaczają, iż wyniki należą do różnych grup jednorodnych, a więc różnią się statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ).

Otrzymane wartości dla mąki i poppingu są zbliżone do danych uzyskanych przez innych autorów tj. 3,4% s.m. (dla mąki z amarantusa) i 3,5% s.m. (dla poppingu) (12) i potwierdzają, że ziarno szarłat (tak, jak produkty z niego wytworzone) jest stosunkowo dobrym źródłem tych składników.

Zawartość tłuszczu w mące była dość wysoka i wynosiła 7,9% s.m. natomiast w pozostałych produktach jego ilość obniżyła się do takiego samego poziomu tj. ok. 6,8% s.m. *Gajewska* i współpr. (12) otrzymali w swoich badaniach zawartość tłuszczu w mące z szarłat i w poppingu na podobnym poziomie, odpowiednio: 8,0% i 7,8% s.m. Niższa zawartość tłuszczu w płatkach niż w mące może wynikać ze stosowania obróbki nasion przy wytwarzaniu płatków, podczas której zostaje usunięta część frakcji okrywowo-zarodkowej, skupiającej ten składnik ziarna (11).

Zawartość białka w badanych produktach wahała się w zakresie od 16,2% s.m. w płatkach do 16,8% s.m. w mące i poppingu i mieściła się w szerokim zakresie (10–21%) podawanym w literaturze dla zawartości tego składnika w nasionach szarłat (2, 5). Oznaczona zawartość azotu niebiałkowego w produktach z amarantusa kształtowała się na niskim poziomie – ok. 0,45% s.m. Różnice w wynikach oznaczenia dla poszczególnych produktów nie są statystycznie istotne – tab. II.

Przeprowadzona w pracy charakterystyka frakcji białkowych (SDS-PAGE), której wyniki przedstawiono na ryc. 1 wykazała, że w mące z amarantusa dominują białka o masie cząsteczkowej 45 kDa, należące do globulin (13), a następnie białka o masie 66 kDa oraz frakcje niskocząsteczkowe (poniżej 18,4 kDa) i frakcje o masie ok. 30 kDa. W obrazie elektroforetycznym białek płatków zaobserwowano obecność frakcji białkowych na szczycie żelu, które nie były widoczne w przypadku mąki, co może wiązać się z polimeryzacją białek płatków pod wpływem obróbki termicznej stosowanej przy ich wytwarzaniu. Poza tym frakcje, które były również obecne w mące, były bardziej wyraźne na żelu w przypadku płatków.



Ryc. 1. Rozdział elektroforetyczny białek pochodzących z produktów z szarlatu: 1 – mąka, 2 – płatki, 3 – popping.

Fig. 1. Electrophoresis patterns of the proteins from amaranth products: 1 – flour, 2- flakes, 3 – popping.

Największą różnicę w porównaniu do pozostałych produktów wykazano w obrazie elektroforetycznym frakcji białkowych pochodzących z poppingu. Zaobserwowano tu zmniejszenie pasm frakcji o masach cząsteczkowych 45 i ok. 30 kDa i frakcji niskocząsteczkowych oraz całkowity zanik frakcji o masie 66 kDa i innych frakcji o masach powyżej 45 kDa, a także niektórych frakcji o masach niższych. Zanik tych frakcji może być spowodowany obróbką termiczną stosowaną przy produkcji poppingu, która może prowadzić do ich polimeryzacji w większym stopniu niż proces wytwarzania płatków. W przypadku poppingu, w zastosowanych warunkach oznaczenia, powstałe wysokocząsteczkowe polimery mogły nie zostać wprowadzone na żel.

Tab e l a II. Charakterystyka związków azotowych w produktach z szarlatu

Table II. Characteristic of nitrogen compounds in amaranth products

Produkt	Zawartość białka ogółem (% s.m.)	Zawartość azotu niebiałkowego (% s.m.)	Strawność <i>in vitro</i> białek (%)
Mąka	16,85 ± 0,17* A**	0,44 ± 0,01 A	83,57 ± 0,19 A
Płatki	16,25 ± 0,23 B	0,45 ± 0,01 A	79,22 ± 0,18 B
Popping	16,73 ± 0,25 A	0,45 ± 0,01 A	86,82 ± 1,09 C

\* ± odchylenie standardowe; \*\* różne litery przy wartościach w tej samej kolumnie oznaczają, iż wyniki należą do różnych grup jednorodnych, a więc różnią się statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ).

W tab. II przedstawiono wyniki strawności *in vitro* białek. Otrzymane w badaniu wartości dla poszczególnych produktów z amarantusa różnią się istotnie statystycznie. Najwyższą strawnością *in vitro* białek odznaczał się popping (86,8%), co może wynikać z zastosowanej obróbki termicznej w procesie produkcji tego

wyrobu, która przyczynia się do zwiększenia podatności białek na działanie enzymów. Procesy termiczne powodują bowiem inaktywację składników nieodżywczych takich, jak np. inhibitory trypsyny oraz rozpad kompleksów białkowo-węglowodanowych powstających w żywności i opornych na działanie enzymów proteolitycznych (3). Popping, w wyniku zastosowanych przy jego wytwarzaniu zabiegów cieplnych, odznaczał się najniższą spośród badanych produktów aktywnością inhibitora trypsyny, a także zawartością polifenoli (14), które mogą obniżać podatność białek na hydrolizę enzymatyczną przez tworzenie z nimi nierozpuszczalnych kompleksów (4). Wyższa strawność białek poppingu mogła być wynikiem także „rozwijania” ich cząsteczek pod wpływem denaturacji termicznej, co sprawia, że aminokwasy rozpoznawane przez proteazy są odsłaniane i bardziej dla nich dostępne (11).

Strawność białek płatków (79,2%), mimo stosowania także przy ich produkcji zabiegów cieplnych w wysokiej temperaturze, była niższa w stosunku do strawności białek mąki (83,6%), w której stwierdzono najwyższą zawartość składników utrudniających proces trawienia – polifenoli i inhibitorów trypsyny (14). Świadczy to o tym, że w przypadku płatków inny sposób obróbki termicznej (parowanie w ok. 100°C przez 10–15 min) niż przy produkcji poppingu mógł spowodować inny charakter zmian w białkach tego produktu. Ich strawność może zależeć od rodzaju frakcji białkowych tj. od ich składu aminokwasowego, struktury trzeciorzędowej, obecności opornych na hydrolizę wiązań disulfidowych, których ilość w nasionach może się zmieniać zależnie od zastosowanej ich obróbki termicznej i powierzchniowej (15). *Bejosano* i *Corke* (4) zaobserwowali wzrost strawności białek mąki z nasion *A. cruentus* po ogrzaniu jej zawiesiny parą wodną w 100°C przez 10 min. Jednak na otrzymaną przez nich odwrotną tendencję niż w pracy mógł wpływać inny rodzaj procesów, którym było poddawane ziarno. W innych badaniach prowadzonych na koncentratkach białkowych otrzymanych z nasion amarantusa poddanych ogrzewaniu ci sami autorzy obserwowali obniżenie strawności białek przez ogrzewanie (16). Efekt ten może być związany z ograniczaniem dostępności lizyny dla działania trypsyny (która rozkłada wiązania peptydowe między lizyną a argininą) przez destrukcję tego aminokwasu podczas obróbki hydrotermicznej, bądź też z powodu tworzenia się w wysokich temperaturach za jego pośrednictwem kompleksów z polifenolami, ponieważ jest ich więcej w płatkach niż w poppingu (4, 14, 15). Taniny mogą wiązać się także z białkami enzymatycznymi i ograniczać w ten sposób działanie enzymów trawiennych.

Skrobia szarłat wyizolowana z mąki składała się głównie z małych okrągłych ziarenek. Stwierdzono, iż należy do typu woskowego. *Tomita* ze współpr. (17) podaje, że amyloza w skrobi szarłat występuje w zakresie 0–22%, zależnie od gatunku. Inni badacze w skrobi nasion *A. cruentus* również nie wykryli amylozy, uznając ją za skrobię woskową (6). To, iż nie wykryto amylozy w skrobi nasion *A. cruentus* może więc wynikać z jej braku w badanym materiale, co by było zgodne z niektórymi danymi literaturowymi, ale również zawartość amylozy w skrobi badanych nasion szarłat mogła być niewielka i zastosowana metoda pomiaru nie wykryła tego składnika. *Baker* i *Rayas-Duarte* (18) twierdzą, że wyniki oznaczania zawartości amylozy różnymi metodami mogą być rozbieżne. Trudność oznaczenia amylozy występującej w niskim stężeniu metodą kolorymetryczną może wynikać z tego, iż

podczas dodawania roztworu jodu do próbek podczas analizy, roztwór skrobi barwi się na kolor czerwono-brązowy, charakterystyczny dla kompleksów amylopektyny z jodem, jak zaobserwowano w niniejszej pracy.

Oznaczona zawartość skrobi w produktach z amarantusa jest mało zróżnicowana i wynosi od 61,7 do 65,6% s.m. (tab. III). Otrzymane wyniki mieszczą się w górnych granicach zakresu podawanego w literaturze dla nasion szarłat, wynoszących od 45 do 65% s.m. (7). Wartość uzyskana dla mąki jest nieco niższa niż dla płatków. Nasiona podczas produkcji płatków są pozbawiane zewnętrznych części, nie zawierających skrobi, co może powodować jej większą koncentrację w płatkach w stosunku do całych nasion, a tym samym wzrost jej zawartości. Nieznacznie niższa zawartość tego składnika w poppingu może być spowodowana zastosowaną obróbką termiczną bo jak podają niektórzy autorzy procesy cieplne powodują zmniejszenie zawartości skrobi (1).

Tab e l a III. Zawartość skrobi i jej strawność w produktach z szarłat

Table III. Starch content in amaranth products and its digestibility

Produkt	Zawartość skrobi (% s.m.)	Strawność skrobi (%)
Mąka	63,56 ± 0,38* A**	93,7 ± 0,8 A
Płatki	65,64 ± 0,35 B	91,8 ± 0,8 A
Popping	61,73 ± 0,35 C	92,0 ± 1,7 A

\* ± odchylenie standardowe; \*\* różne litery przy wartościach w tej samej kolumnie oznaczają, iż wyniki należą do różnych grup jednorodnych, a więc różnią się statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ).

Badanie strawności skrobi *in vitro* wykazało, jest ona we wszystkich produktach bardzo wysoka i wynosi ponad 90%. Również w literaturze skrobia szarłat opisywana jest jako bardzo podatna na działanie amylaz. W doświadczeniach żywieniowych stwierdzono, że jest ona 2-4 razy łatwiej trawiona i przyswajana niż skrobia prosa (17). Wysoka strawność tego polisacharydu w amarantusie jest prawdopodobnie spowodowana przede wszystkim bardzo niską zawartością amylozy, która w istotny sposób wpływa na strawność skrobi. Poza tym może być ona spowodowana małym rozmiarem ziarenek skrobi amarantusa w wyniku czego mają one dużą powierzchnię w stosunku do masy w porównaniu do skrobi innych roślin, co również może powodować wzrost ich podatności na trawienie.

## WNIOSKI

- Badane produkty odznaczały się wysoką zawartością związków odżywczych. Najniższą ilość białek i składników mineralnych oraz najwyższą skrobi stwierdzono w płatkach.
- Strawność białek i skrobi w produktach z amarantusa była wysoka. Najniższą podatnością na proteolizę odznaczały się białka płatków.

M. Piecyk, E. Worobiej, M. Rębiś, Ż. Rębiś

THE CONTENT AND THE CHARACTERISATION OF NUTRIENTS  
IN AMARANTH PRODUCTS

Summary

The aim of the study was to determine the content of starch, protein and their digestibility, as also the content of non-protein nitrogen in products from the amaranth. The content of fat and ash was also determined. The digestibility of starch and proteins was high; this, among other things, was due to the comparatively low content of non-nutrient bioactive compounds. Popping proteins showed highest susceptibility to proteolysis due to thermal processing applied in popping production and the resultant inactivation of trypsin inhibitor.

PIŚMIENNICTWO

1. Pedersen B., Kalinowski L.S., Eggum B.O.: The nutritive value of amaranth grain (*A. Caudatus*). 1. Protein and minerals of raw and processed grain. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 1987; 36: 309-324. – 2. Zheleznov A.V., Solonenko L.P., Zheleznova N.B.: Seed proteins of the wild and the cultivated *Amaranthus* species. *Euphytica*, 1997; 97: 177-182. – 3. Piecyk M., Klepacka M., Worobiej E.: Zawartość inhibitorów trypsyny, oligosacharydów oraz fosforu fitynowego w preparatach białkowych otrzymanych z nasion fasoli (*Phaseolus vulgaris*) metodą krystalizacji i izolacji klasycznej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005; 3(44): 92-104. – 4. Bejosano F.B., Corke H.: Protein quality evaluation of *Amaranthus* wholemeal flours and protein concentrates. *J. Sci. Food Agric*, 1998; 76: 100-106. – 5. Prakash D., Pal M.: Seed protein, fat and fatty acid profile of *Amaranthus* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1992; 58: 145-147. – 6. Singhal R.S., Kulkarni P.R.: Review: Amaranths – an underutilized resource. *International Journal of Food Science and Technology*, 1988; 23: 125-139. – 7. Grajeta H.: Wartość odżywcza i wykorzystanie szarłat (rodzaj *Amaranthus*). *Bromat. Chem. Toksykol.*, 1997; 30(1): 17-23. – 8. Hsu H.W., Vavak D.L., Satterlee L.D., Miller G.A.: A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*, 1977; 45: 1269-1273. – 9. Morrison W.B., Laignelet B.: An important colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *J. Cereal Sci.*, 1983; 1: 19-20. – 10. Muir J.G., O'Dea K.: Measurement of resistant starch: factors affecting the amount of starch escaping digestion in vitro. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1992; 56: 123-127
11. Betschart A.A., Irving D.W., Shepherd A.D., Saunders R.M.: *Amaranthus cruentus*: milling characteristics, distribution of nutrients within seed components and the effects of temperature on nutritional quality. *J. Food Sci.*, 1981; 46: 1181-1187. – 12. Gajewska R., Lebidzińska A., Malinowska E., Szefer P.: Ocena jakości zdrowotnej szarłat (amarantusa). *Roczn. PZH*, 2002; 53: 141-147. – 13. Barba de la Rosa A.P., Gueguen J., Peredes-López O., Viroben G.: Fractionation procedures, electrophoretic characterization, and amino acid composition of amaranth seed proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992; 40: 931-936. – 14. Worobiej E., Piecyk M., Rębiś M., Rębiś Ż.: Zawartość naturalnych związków nieodżywczych i właściwości przeciwtleniające produktów z szarłat. *Bromat. Chem. Toksykol.* 2009; 42, (2): ..... – 15. Bhatti R.S., Whitaker J.R.: *In vivo* and *in vitro* protein digestibilities of regular and mutant barleys and their isolated protein fractions. *Cereal Chemistry*, 1987; 64: 144-149. – 16. Bejosano F.P., Corke H.: Properties of protein concentrates and hydrolysates from *Amaranthus* Buckwheat. *Ind Crops Prod*, 1999; 10: 175-183. – 17. Tomita Y., Sugimoto Y., Sakamoto S., Fuwa H.: Some properties of starches of grain amaranths and several millets. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 1981; 27: 471-484. – 18. Baker L.A., Rayas-Duarte P.: Freez-Thaw Stability of Amaranth Starch and the Effects of Salt and Sugars. *Cereal Chem.*, 1998; 75: 301-307.

Adres: 02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159c.