

## Wpływ acetonu na ABS – materiał wykorzystywany do druku 3D modeli odlewniczych

### The effect of acetone on ABS used in the 3D printing of casting models

Jagoda Ryba<sup>1\*</sup>, Urszula Lelek-Borkowska<sup>1</sup>, Agnieszka Tąta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków, Polska

<sup>1</sup>AGH – University of Science and Technology, Faculty of Foundry Engineering, ul. Reymonta 23, Krakow, Poland

\*Corresponding author: jagoda.ryba1990@gmail.com

Received: 13.12.2017. Accepted in revised form: 31.03.2018.

© 2018 Instytut Odlewnictwa. All rights reserved.

DOI: 10.7356/ioid.2018.03

#### Streszczenie

Celem przeprowadzonych badań była poprawa jakości wydruków 3D metodą FDM (Fused Deposition Modeling) z materiału ABS (akrylonitrylo-butadieno-styren), wykorzystywanego do wykonywania modeli odlewniczych. Doświadczenia prowadzone były z użyciem acetonu, jako czynnika wygładzającego tworzywo ABS.

Proces wygładzania powierzchni wydrukowanych modeli prowadzony był w specjalnie skonstruowanej do tego celu komorze acetonowej. Modele odlewnicze zostały poddane przez określony czas ekspozycji w parach acetonu w podwyższonej temperaturze. Proces wygładzania powierzchni wydruków metodą FDM jest bardzo ważny dla dalszej eksploatacji modeli, gdyż chropowatość ich powierzchni jest cechą niepożądaną. Uniemożliwia ona uzyskanie gładkich powierzchni gotowych odlewów oraz naraża na koszty związane z obróbką wykańczającą i utratą części odlanego materiału.

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów chropowatości badanych modeli po ekspozycji w komorze, stwierdzono, iż najlepszą metodą obróbki tworzywa ABS jest ekspozycja wydruku w oparach acetonu w temperaturze 56°C, w czasie 15 minut. Operacja ta pozwala na dokładniejsze odtworzenie modelu odlewniczego, którego chropowatość jest niewielka, co skutkuje mniejszą utratą materiału z gotowego odlewu podczas obróbki ubytkowej.

**Słowa kluczowe:** metoda FDM, tworzywo ABS, modele odlewnicze, chropowatość, wydruk 3D

#### Abstract

The aim of the study was to improve the quality of 3D prints obtained by the FDM method (Fused Deposition Modeling) from ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene), used for casting models. The agent used for smoothing the ABS was acetone.

The process of smoothing the surfaces of the printed model was carried out in an acetone chamber designed especially for this purpose. The casting models were exposed to acetone vapors at an elevated temperature. The process of smoothing the surface of the ABS prints made by the FDM method is crucial for the continued operation of the models, as a rough surface is an undesirable property, making it impossible to obtain smooth surfaces from the prepared casts. This generates costs connected with finishing treatment and the loss of some of the cast material.

Based on the results of the roughness tests performed on the examined models after exposure to acetone in the chamber, it was established that the best treatment method for ABS is to expose the print to acetone vapors at 56°C for 15 minutes. This procedure enables more accurate reconstruction of the casting model, which results in a lower material loss from the ready cast during the process of removing the material.

**Keywords:** FDM method, ABS, casting models, roughness, 3D print

## 1. Wprowadzenie

Akrylonitrylo-butadieno-styren, który wykorzystywany jest w druku 3D metodą FDM (*Fused Deposition Modelling*) zaliczany jest do polimerów termoplastycznych. Nie posiada on określonej temperatury płynięcia – jest amorficzny, natomiast temperatura zeszklenia waha się w zależności od procentowej zawartości poszczególnych składników od 105°C do 106°C [1–3]. Zakres temperatury topnienia akrylonitrylo-butadieno-styrenu dla klasy wtrysku wynosi od 110°C do 125°C, natomiast dla klas włączania – od 88°C do 120°C [2–4]. ABS otrzymuje się z akrylonitrylu styrenu oraz 1,3-butadienu. Gęstość tworzywa, podobnie jak temperatura zeszklenia, zależna jest od składu chemicznego i wynosi od 0,9 g/cm<sup>3</sup> do 1,53 g/cm<sup>3</sup>, jednak najczęściej podawana jest wartość średnia wynosząca 1,07 g/cm<sup>3</sup> [2,3].

Każda z właściwości mechanicznych, fizycznych czy chemicznych tworzywa ABS zależna jest od składu oraz sposobu wytworzenia gotowego produktu. ABS jest termoplastyczną mieszaniną powstającą na skutek polimeryzacji emulsyjnej kopolimeru styrenu i akrylonitrylu z kauczukiem butadienonitrylowym lub w wyniku szczywienia terpolimerów, takich jak styren (S) i akrylonitryl (AN) na polibutadienie (BR) (procentowy skład takiego tworzywa przedstawia się w następujący sposób: 50–80% S, 10–25% AN i 10–25% BR) [2,3].

Zwiększając proporcje polibutadienu w stosunku do kopolimeru styreno-akrylonitrylu lub wyłaczając ABS w niskiej temperaturze, uzyskuje się lepszą wytrzymałość, sprężystość i udarność, natomiast podwyższenie temperatury formowania lub zwiększenie zawartości styrenu powoduje, iż gotowy produkt posiada wyższą wytrzymałość cieplną oraz następuje poprawa połysku. Zmiana zawartości procentowej polibutadienu w gotowym produkcie wpływa również na prędkość procesu starzenia ABS oraz na zakres wytrzymałości termicznej (zmniejszenie zawartości butadienu powoduje wzrost wytrzymałości do 100°C). Dodatek akrylonitrylu powoduje zwiększenie odporności na czynniki chemiczne, a także wytrzymałości tworzywa sztucznego na wysoką temperaturę, zaś zwiększając proporcje styrenu uzyskuje się lepsze właściwości w przeróbce plastycznej. Dodatek wypełniacza np.: włókien szklanych do matrycy ABS (utworzenie kompozytu) również wpływa na zwiększenie wytrzymałości mechanicznej materiału badanego [4–8].

Tworzywo ABS nie jest odporne na działanie acetonu (propanon (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CO), który powoduje jego częściowe rozpuszczenie (rozpuszczeniu ulegają kopolimery akrylonitrylu oraz butadienu) [9,10]. Stosując odpowiedni sposób i czas ekspozycji akrylonitrylo-butadieno-styrenu w acetonie, można polepszyć jego właściwości mechaniczne oraz użytkowe. Pod wpływem niewielkich ilości acetonu powierzchnia wydrukowanych elementów z kopolimeru ABS metodą FDM ulega wygładzeniu przez zanik wyraźnych warstw filamentu [9–12]. Dlatego też znalezienie odpowiedniej metody, czasu i temperatury

## 1. Introduction

Acrylonitrile-butadiene-styrene, used in the FDM method (Fused Deposition Modelling) of 3D printing, is a form of thermoplastic polymers. It is an amorphous material and does not exhibit a specific flow temperature, whereas its glassy temperature varies between 105°C and 106°C, depending on the proportions of particular components [1–3]. The melting point of acrylonitrile-butadiene-styrene used in the injection technique varies from 110°C to 125°C, whereas for the material used in the pressing technique the melting point varies from 88°C to 120°C [2–4]. ABS is obtained by the copolymerization of acrylonitrile, styrene and but-1,3-diene. The density of the material, similarly to the glassy temperature, depends on the chemical composition and varies from 0.9 g/cm<sup>3</sup> to 1.53 g/cm<sup>3</sup>. However the most frequently cited average value is 1.07 g/cm<sup>3</sup> [2,3].

Each mechanical, physical and chemical property of ABS is dependent on the composition and production process of the ready product. ABS is a thermoplastic mixture, formed as a result of emulsion polymerization of styrene and acrylonitrile copolymer with butadiene-nitrile rubber, or as a result of grafting of terpolymers such as styrene (S) and acrylonitrile (AN) on polybutadiene (BR) (percentage composition of this material is as follows: 50–80% S, 10–25% AN and 10–25% BR) [2,3].

Increasing the proportions of polybutadiene in relation to styrene-acrylonitrile copolymer or pressing it at a low temperature gives better durability, elasticity and impact strength of ABS, while raising the moulding temperature or increasing the styrene content ensures better thermal resistance and better sheen on the ready product. A change in the content of polybutadiene in the ready product also affects the rate of ageing in ABS, and the thermal resistance range (reducing the percentage of butadiene causes an increase in polymer durability up to 100°C). The addition of acrylonitrile increases resistance to chemical factors, as well as to high temperature, while increasing the proportions of styrene improves the properties in plastic processing. The addition of a filler, e.g. glass fibres, to the ABS matrix (forming a composite) also increases the mechanical strength of the examined material [4–8].

ABS plastic is not resistant to acetone (propanone (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CO), which causes its partial dissolution (dissolution of acrylonitrile and butadiene copolymers) [9,10]. By applying the appropriate procedure and exposing acrylonitrile-butadiene-styrene to acetone, it is possible to improve its functional properties. The ABS copolymer surface printed by the FDM method becomes smoother when exposed to acetone vapors, as the distinct filament layers fade [9–12]. The development of the appropriate method and establishing the exact temperature and time of exposure to achieve optimum

ekspozycji materiału ABS w acetonie jest kluczowym zagadnieniem niezbędnym do otrzymania wygładzonych wydruków, które następnie wykorzystywane będą jako modele odlewnicze [13].

## 2. Badania

W celu otrzymania odpowiedniej jakości powierzchni modeli odlewniczych, wykonywanych za pomocą druku 3D metodą FDM z ABS, została skonstruowana specjalna komora acetonowa (rys. 1 i 2) [13]. Składa się ona z następujących elementów: poliwęglanowego boks parowania, szklanego boks parowania i szklanego naczynia z acetonem. Obydwa boksy połączone są przewodami doprowadzającymi do nich pary acetonu z naczynia, a także wyposażone są w system odprowadzania ich nadmiaru przez podciśnienie uzyskiwane za pomocą pompki wodnej. Obydwa boksy oraz naczynie z acetonem umieszczono w przykrytym prostokątnym pojemniku wypełnionym w 1/8 wodą o temperaturze 56°C. Aceton doprowadzany do boksów znajdował się pod ciśnieniem. Konstrukcja komory pozwalała na jednoczesne wygładzenie większej liczby małych wydruków lub trzech większych (wysokość do 180 mm, szerokość do 150 mm), dzięki czemu otrzymuje się w szybki i prosty sposób gotowe modele odlewnicze o wygładzonej powierzchni [13]. Materiały, z których została wykonana komora, nie ulegają reakcji z acetonem, przez co komora ta może służyć w bezpieczny sposób przez długi czas [6, 13].

Celem przeprowadzonych badań była poprawa jakości wydruków 3D metodą FDM z materiału ABS wykorzystywanego do wykonywania modeli odlewniczych. Doświadczenia prowadzone były z użyciem acetonu, jako czynnika wygładzającego tworzywo ABS. Materiałem stosowanym w badaniach był Cyoalac ABS materiał ABS materiał ABS Cyoalac FXS610SK, który jest wtryskowym gatunkiem ABS dla uniwersalnych zastosowań, idealny dla aplikacji wymagających specjalnych efektów kolorystycznych [17].

Badania prowadzone były na 160 próbkach ABS (podzielonych na 4 partie, po 40 sztuk na każde badanie) w formie płytek o grubości 4 mm, wysokości 40 mm i szerokości 25 mm [14, 15]. Przed rozpoczęciem każdego badania próbki zostały pojedynczo oznaczone, zmierzone, zważone, a także dokonano pomiaru chropowatości ich powierzchni (za pomocą urządzenia Mitutoyo Surfest 201) w celu porównania z wynikami po ekspozycji w acetonie [16]. Poszczególne partie próbek podczas badań poddane zostały przez zadany czas ekspozycji w 10, 20 i 30% roztworze ABS (woda destylowana + ABS), w czystym acetonie o temperaturze 25°C, w parach acetonu o temperaturze 25°C i parach acetonu o temperaturze 56°C. Każdorazowo po zakończeniu pomiarów próbki ponownie zważono, zmierzono i dokonano pomiaru chropowatości ich powierzchni. Na podstawie otrzymanych

results is the key issue, necessary to obtain smoothed prints which can be used as casting models [13].

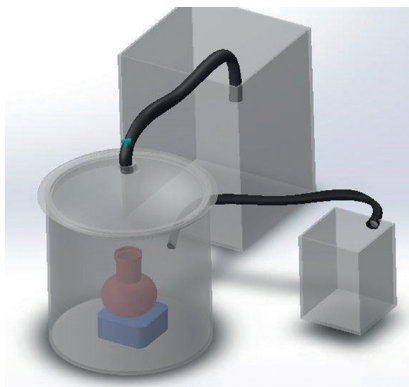
## 2. Experiments

In order to obtain the appropriate surface quality of casting models made from ABS through 3D printing by the FDM method, a special acetone chamber has been constructed (Figs. 1 and 2) [13]. The chamber consisted of the following components: a polycarbonate vaporization box, a glass vaporization box and a glass container with acetone. Both boxes are connected to conduits supplying them with acetone vapors from the container. They are also equipped with a system for removing the excess vapors through underpressure obtained by means of a water pump. Both boxes and the container with liquid acetone were placed in a covered cuboidal container filled with 1/8 water, at 56°C. The acetone was supplied to the boxes under elevated pressure. The construction of the chamber allowed the simultaneous smoothing of a few small prints or three big ones (height – up to 180 mm, width – up to 150 mm) [13]. The materials used for the construction of the chamber do not react with acetone, which enables the safe usage of the chamber for a longer period of time [6, 13].

The aim of these experiments was to improve the quality of the 3D prints made by the FDM method from ABS, used for casting models. The experiments were carried out with the use of acetone as an agent to smooth the ABS plastic. The material used in the tests was ABS Cyoalac FXS610SK – an injection type of ABS for universal applications [17].

The tests were performed on 160 ABS samples (divided into 4 lots, 40 items for each test) in the form of plates, 4 mm thick, 40 mm high and 25 mm wide [14, 15]. Before the beginning of each test, the samples were individually marked, measured and weighed. Measurement of the surface roughness of the samples was performed by means of the Mitutoyo Surfest 201 device, in order to make a comparison with the results obtained after the exposure to acetone [16]. The specified lots of test samples were exposed to 10, 20 and 30% ABS solution (distilled water + ABS), pure acetone and acetone vapors at a temperature of 25°C, as well as acetone vapors at a temperature of 56°C. The exposure time were 5, 10, 15, 20 minutes. The samples were weighed and measured after each exposure. Surface roughness was also tested. Based on the obtained results, it was established that the best method for smoothing the surface of 3D prints made from the ABS copolymer is exposure to acetone vapors at 56°C for 15 min.

wyników stwierdzono, że najlepszą metodą wygładzania powierzchni wydruków 3D z kopolimeru ABS jest ich ekspozycja w parach acetonu w temperaturze 56°C.



Rys. 1. Model komory acetonowej wykonany w programie Solid Works  
 Fig. 1. Model of an acetone chamber designed in the Solid Works software



Rys. 2. Komora acetonowa  
 Fig. 2. Acetone chamber

Otrzymane wyniki przedstawiono w tabelach 1, 2 i 3. The results of research are presented in Tables 1, 2 and 3.

Tabela 1. Analiza zmian wymiarów danej partii próbek dla ekspozycji w parach acetonu o temperaturze 56°C  
 Table 1. Analysis of dimension changes in the given sample lot for acetone vapor exposure at 56°C

Numer partii próbek/ Number of sample lot	Czas ekspozycji, min/ Exposure time, min	Średnia zmiana szerokości, % / Mean width change, %	Średnia zmiana długości, % / Mean length change, %	Średnia zmiana grubości, % / Mean thickness change, %
1	5	0	0	0
2	10	0,025	0,017	0,012
3	15	0,043	0,046	0,044
4	20	0,152	0,159	0,148

Tabela 2. Analiza zmian parametru średniego arytmetycznego odchylenia profilu od linii średniej ( $R_a$ ) średniej wartości danej partii próbek, po zakończonym procesie wygładzenia powierzchni przy użyciu par acetonu o temperaturze 56°C

Table 2. Analysis of the changes in the profile's mean arithmetical deviation from the average line ( $R_a$ ) of the specific sample lot's mean value, after exposure to acetone vapors at 56°C

Numer partii próbek / Number of sample lot	Czas ekspozycji, min / Exposure time, min	Średnia zmiana parametru $R_a$ , $\mu\text{m}$ / Mean change of parameter $R_a$ , $\mu\text{m}$
1	5	1,20
2	10	0,82
3	15	0,41
4	20	0,39

Tabela 3. Analiza wagowa średniej wartości danej partii próbek po odpowiednim czasie ekspozycji w parach acetonu o temperaturze 56°C

Table 3. Gravimetric analysis of the specific sample lot's mean value after the appropriate time of exposure to acetone vapors at 56°C

Numer partii próbek / Number of sample lot	Czas ekspozycji, min / Exposure time, min	Średnia zmiana wagi, % / Mean weight change, %
1	5	0
2	10	0,03
3	15	0,05
4	20	0,10

### 3. Dyskusja wyników

Uzyskane dane wskazują na niewielkie różnice pomiędzy objętością i masą próbek poddanych działaniu par acetonu a próbkami, które tej obróbce nie zostały poddane.

Z przedstawionych powyżej danych wynika, iż optymalnym czasem ekspozycji w parach acetonu w temperaturze 56°C tworzywa ABS jest czas 15 minut. Po tym czasie otrzymuje się najmniejszą chropowatość przy znikomej utracie objętości i masy. Metoda ta jest optymalna. Pozwala ona w niedługim czasie na wygładzenie wielu modeli. Powierzchnia wygładzanego modelu jest błyszcząca i nie pojawiają się na niej żadne odbarwienia. Tak przygotowane modele odlewnicze pozwalają na uzyskanie odlewów posiadających małą chropowatość [13].

### 4. Wnioski

Najlepszą metodą obróbki modeli odlewniczych drukowanych metodą 3D z badanego tworzywa ABS okazała się ekspozycja w parach acetonu w temperaturze 56°C w czasie 15 minut. W metodzie tej ubytek masy nie występuje, natomiast chropowatość powierzchni badanych próbek jest zdecydowanie mniejsza, aniżeli zanotowana podczas pomiarów próbek poddanych obróbce acetonem innymi metodami. W metodzie tej

### 3. Discussion of results

The tests showed that both the size and mass of the samples treated with acetone vapors and those that did not undergo this treatment did not differ significantly.

The parameter showing the greatest differences was surface roughness. The lowest roughness with negligible volume and mass loss was observed for samples treated with acetone vapors at 56°C for 15 min. The surface of the smoothed model was shiny, without discoloration. Casting models prepared in this way make it possible to obtain casts of a low roughness [13].

### 4. Conclusions

The best method for the treatment of 3D cast models printed from ABS is exposure to acetone vapors at 56°C for 15 minutes. Under these conditions, mass loss does not occur, while the surface roughness of the tested samples appears to be the lowest. When ABS is exposed to acetone vapors under these conditions, the polymer begins to shrink and the edges of the layers begin to fade spontaneously. This phenomenon occurs

pary acetonu powodują, że ABS zaczyna się kurczyć, a krawędzie warstw zaczynają samoistnie zanikać. Zjawisko to zachodzi w zakresie temperatury dla pracy ciągłej 50–60°C (temperatura parowania acetonu), co nie wpływa na zmiany właściwości ABS (zakres temperatury dla pracy ciągłej ABS -40–85°C). Jedyną wadą tego sposobu jest to, że aceton jest dość niebezpiecznym środkiem do użycia, ponieważ jest łatwopalny, posiada niską temperaturę zapłonu i wystarczy nawet tylko 2,5% jego obecności w powietrzu, aby wywołać płomień. Ma to istotne znaczenie, biorąc pod uwagę, że musi zostać podgrzany [9].

Podobne efekty wygładzenia można otrzymać, poddając wydruk 3D jednogodzinnej ekspozycji w parach acetonu w temperaturze 25°C, jednak sposób ten jest czasochłonny. W przypadku poddania elementu wykonanego z ABS ekspozycji w acetonie przez zanurzenie, dochodzi do zniekształcenia elementu i pojawienia się na nim białego nalotu, który często się łuszczy [13].

Poddając akrylonitrylo-butadieno-styren działaniu acetonu, należy pamiętać, iż bardzo szybko rozpłaszcza się i zbyt długa ekspozycja może zniekształcić wydrukowany obiekt lub w przypadku, gdy czas działania acetonu zostanie ograniczony, nie uzyska się zamierzonego efektu wygładzenia [16].

in the temperature range for continuous operation of 50–60°C (acetone vaporization temperature), which does not affect changes in ABS properties (temperature range for continuous operation ABS -40–85°C). The only disadvantage of the process is the low temperature of acetone ignition and the relatively low concentration of vapors (about 2.5 vol. % in air) needed to ignite. This is important, considering that the solvent must be heated to the evaporation point [9].

Similar smoothing effects can be obtained by subjecting a 3D print to a one-hour exposure in acetone vapor at 25°C, however this method is time-consuming.

When ABS is immersed in liquid acetone, the copolymer element becomes distorted and coated with a white coating, which often peels off [13].

When treating acrylonitrile-butadiene-styrene with acetone, it should be remembered that the polymer dissolves in this solvent very quickly and too long an exposure may distort the printed object or, if the time of action of the acetone is too short, the intended smoothing effect will not be obtained [16].

## Literatura/References

1. Jung D.J., J. Chen, S.J. Na. 2016. „Effect of surface pre-oxidation on laser assisted joining of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and zinc-coated steel”. *Materials & Design* 99 (5 June 2016) : 1–9.
2. Weng Z., J. Wang, T. Senthil, L. Wu. 2016. „Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing”. *Materials & Design* 102 (15 July 2016) : 276–283.
3. Torrado A.R., C.M. Shemelya, J.D. English, Y. Lin, R.B. Wicker, D.A. Roberson. 2015. „Characterizing the effect of additives to ABS on the mechanical property anisotropy of specimens fabricated by material extrusion 3D printing”. *Additive Manufacturing* 6 (April 2015) : 16–29.
4. Al Jahwari F., Y. Huang, H.E. Naguib, J. Lo. 2016. „Relation of impact strength to the microstructure of functionally graded porous structures of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) foamed by thermally activated microspheres”. *Polymer* 98 : 270–281.
5. Wiśniewska M. (red.). 2001. *Chemia*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
6. Hassa R. (red.). 2004. *Podręczny słownik chemiczny*. Katowice: Videograf II.
7. Gong D. 2016. „Polymerization of 1,3-butadiene catalyzed by a thermal robust, high selective and active iron catalyst: An applicable recipe for producing syndiotactic 1,2-polybutadiene”. *Polymer* 98 : 136–142.
8. Chen S.H. 2016. „Diels–Alder reactions of an elusive 1,3-butadiene bearing 2-carboxy and 4-alkoxy substituents”. *Tetrahedron Letters* 57 (38) : 4293–4296.
9. Zhou J. 2016. „Formation of styrene monomer, dimer and trimer in the primary volatiles produced from polystyrene pyrolysis in a wire-mesh reactor”. *Fuel* 182 : 333–339.

10. Chen Y. 2016. „Acetone sensing properties and mechanism of nano-LaFeO<sub>3</sub> thick-films”. *Sensors and Actuators B: Chemical* 235 : 56–66.
11. Szykiedans K., W. Credo. 2016. „Mechanical properties of FDM and SLA low-cost 3-D prints”. *Procedia Engineering* 136 : 257–262.
12. Kun K. 2016. „Reconstruction and development of a 3D printer using FDM technology”. *Procedia Engineering* 149 : 203–211.
13. Ryba J. 2016. *Wpływ acetonu na materiał do drukarek 3D-ABS*. Praca magisterska, Kraków: Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki.
14. Bis R., R. Markiewicz. 2008. *Komputerowe wspomaganie projektowania CAD: Podstawy*. Warszawa: REA sp.j.
15. Babiuch M. 2007. *SolidWorks 2006 w praktyce*. Gliwice: Helion.
16. Nowicki B. 1991. *Struktura geometryczna. Chropowatość i falistość powierzchni*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
17. <https://www.danje.pl/produkt/103/cycolac-fxs610sk> [dostęp 28.02.2018].

