

- [9] Górecki A., Kuś W.M., Błażewicz S., Chłopek J., Powroźnik A., Pykało R.: "Węglowa proteza więzadła krzyżowego przedniego w badaniach doświadczalnych". *Kolano* 1991;1:87-94
- [10] Jenkins G.M., Carvalho F.X.: "Biomedical applications of carbon fibre reinforced carbon in implanted prostheses". *Carbon* 1977;15:33-37
- [11] Jenkins D.H.R., McKibbin B.: "The role of flexible carbon fibre implants as tendon and ligament substitute in clinical practice. A preliminary report." *J Bone Joint Surg* 1980;62:497-9
- [12] Kusz D., Tokarowski.: "Plastyka torebkowo-więzadłowa nawracającego zwichnięcia stawu ramiennie-promieniowego z użyciem biomateriału węglowego". *Inż Materiał* 1993;5:126
- [13] Milka S., Tokarowski A., Papież M., Mrowiec A.: "Ocena wyników rekonstrukcji więzadła kruczo-obończykowego więzadłową protezą węglową". *Inż Materiał* 1993;5:121-2
- [14] Minns R.J., Flynn M.: "Intraarticular implant of filamentous carbon fibre in the experimental animal" *J Bioeng* 1978;2:279-286
- [15] Mrowiec A., Tokarowski A., Milka S., Papież M.: "Materiały węglowe w leczeniu przetrwania ciągłości ścięgna Achillesa". *Inż Materiał* 1993;5:124-5
- [16] Cieślak T., Pogorzelska-Stronczak B., Szczurek Z., Sabat D.: "Obserwacje nad wpływem włókniny węglowej na gojenie się tkanki kostnej w ubytkach pooperacyjnych wyrostków zębodołowych szczęk" III Konferencja "Biomateriały Węglowe" Rytro 1992, s.23-28
- [17] Louis J.P., Dabadie M.: "Fibrous carbon implants for the maintenance of bone volume after tooth avulsion. *Biomaterials* 1990;11:525-528
- [18] Benke G., Kuś W.M., Górecki A., Pykało R., Powroźnik A.: "Wypełnianie ubytków chrzęstnych włókniną węglową - obserwacje odległe" II Konferencja "Biomateriały Węglowe" Rytro 91 s.1-3
- [19] Cieślak T., Pogorzelska-Stronczak B.: "Kilkuletnia ocena gojenia ubytków kości wyrostków zębodołowych w obecności włókniny węglowej" VI Konferencja "Biomateriały Węglowe i Ceramiczne", Rytro 1995, s.35-37
- [20] Guiral J., Fernandez L., Curto J.M., Basora J., Vincente P.: "Carbon and polyester fibers as a scaffold for bone repair - studies of segmentary implants in the rabbit radius". *Acta Orthop Scand* 1990;61:16-20
- [21] Kotela I.: "Wyniki operacyjnego leczenia złamanych kostek gojeni kompozytowymi materiałami węglowymi" *Inż Materiał* 1993;5:137-8
- [22] Pampuch R.: "Włókna węglowe". AGH Kraków 1986
- [23] Prakash R., Marwah S., Goel S.C., Tuli S.M.: "Carbon fibre reinforced epoxy implants for bridging large osteoperiosteal gaps". *Biomaterials* 1988;9:198-202
- [24] Minns R.J., Denton M.J., Dunstone G.H., Sunter J.P.: "An experimental study of the use of a carbon fibre patch as a hernia prosthesis material". *Biomaterials* 1982;3:199-203
- [25] Cieślak T., Pogorzelska-Stronczak B., Szczurek Z., Koszowski R., Skowronek J., Sabat D., Zajęcki W.: "Odpowiedź tkankowa na wszczep z materiału złożonego z włókien węglowych i polisulfonu" VII Konferencja "Biomateriały w medycynie i weterynarii" Rytro 1996r s.21-24
- [26] Cieślak T., Szczurek Z., Pogorzelska-Stronczak B., Sabat D., Koszowski R., Zajęcki W.: "Wpływ włókniny węglowej nasyczonej hydroksyapatytem na gojenie ubytków kostnych na podstawie badań morfologicznych" VIII Konferencja "Biomateriały w medycynie i weterynarii" Zembrzyce 1997r., s.7
- [27] Goodship A.E., Wilcock S., Shah J.S.: "The development of tissue around various prosthetic implants used as replacements for ligaments and tendons. *Clin Orthop Rel Res* 1985;196:61-68
- [28] Jenkins D.H.R., Forster I.W., McKibbin B., Ralis Z.A.: "Induction of tendon and ligament formation by carbon implant". *J Bone Joint Surg* 1977;59B:53
- [29] Błażewicz M., Błażewicz S., Wajler C.: "Mechanical and implant behaviour of chemically modified carbon braids" *Ceramics Int* 1994;20:99-103
- [30] Czajkowska B., Błażewicz M.: Phagocytosis of chemically modified carbon materials. *Biomaterials* 1997;18:69-74
- [31] Błażewicz M., Paluszkiwicz Cz., Pamuła E., Zamorska L., Żolnierek M., Nowak B., Menażek E.: Wpływ struktury chemicznej budowy powierzchni włóknistych materiałów węglowych na ich zachowanie w środowisku biologicznym. *Biuletyn PAN* 1994
- [32] Dąbrówka K., Nożyński J., Zembala-Nożyńska E., Błażewicz S.: "Average greyness degree - as an objective parameter of carbon fibre biodegradation". *Inż Biomateriałów* 2001;13:3-8
- [33] Cieślak T.: "Płytki i śruby z kompozytu węgiel-węgiel do zespolenia odłamów żuchwy. Badania doświadczalne i kliniczne." *Rozprawa habilitacyjna*. Śl.A.M. Katowice 1993r.
- [34] Pykało R.: "Obrazy mikroskopowe i radiologiczne implantów węglowych" w: Kuś W.M. (red): "Biomateriały w Medycynie" Drukarnia Agencji Poligraficzno-Wydawniczej KARNIOWICE, 1993, s.89-91

## PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH WŁÓKNIN WĘGLOWYCH UŻYTYCH DO WYPEŁNIENIA UBYTKÓW TKANKI KOSTNEJ KRÓLIKÓW

EWA ZEMBALA - NOŻYŃSKA\*, JERZY NOŻYŃSKI\*\*, DANIEL SABAT\*,  
KRZYSZTOF DĄBRÓWKA\*, TADEUSZ CIEŚLIK\*\*\*\*, ZBIGNIEW SZCZUREK\*

\* KATEDRA I ZAKŁAD PATOMORFOLOGII,  
ŚLĄSKIEJ AKADEMII MEDYCZNEJ, ZABRZE

\*\* KATEDRA I ZAKŁAD FARMAKOLOGII,  
ŚLĄSKIEJ AKADEMII MEDYCZNEJ, ZABRZE

\*\*\* ŚLĄSKIE CENTRUM CHOROÓB SERCA, ZABRZE

\*\*\*\* I KLINIKA CHIRURGII SZCZĘKOWO-TWARZOWEJ,  
ŚLĄSKIEJ AKADEMII MEDYCZNEJ, ZABRZE

## STATISTICAL ANALYSIS OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF CARBON CLOTHS USED FOR HARD TISSUE FILLING IN RABBITST

EWA ZEMBALA - NOŻYŃSKA\*, JERZY NOŻYŃSKI\*\*, DANIEL SABAT\*,  
KRZYSZTOF DĄBRÓWKA\*, TADEUSZ CIEŚLIK\*\*\*\*, ZBIGNIEW SZCZUREK\*

\* DEPARTMENT OF PATHOLOGY,  
SILESIA MEDICAL ACADEMY, ZABRZE

\*\* DEPARTMENT OF PHARMACOLOGY,  
SILESIA MEDICAL ACADEMY, ZABRZE

\*\*\* SILESIA CENTRE FOR HEART DISEASES, ZABRZE

\*\*\*\* I CLINIC OF MAXILLO-FACIAL SURGERY,  
SILESIA MEDICAL ACADEMY, ZABRZE

Celem badania było morfometryczne porównanie zmian wartości geometrycznych włókien węglowych takich jak wymiar najkrótszy, szerokość pasma/ obliczona szerokość, współczynnik wypełnienia przyjętych za wskaźniki procesu biodegradacji włókniny węglowej użytej jako wypełnienie doświadczalnie wykonanych kostnych ubytków żuchwy u królików. Wykorzystano 48 wycinków tkanek. Ubytki kostne o średnicy 6 mm wykonywano w podstawie żuchwy, po czym wypełniano je trzema rodzajami włókniny węglowej:

1. włókniną węglową z grupami kwasowymi i zasadowymi na powierzchni,
2. włókniną węglową z grupami kwasowymi na powierzchni,
3. włókniną pokrytą pirowęgłem i zawierającą grupy zasadowe na powierzchni.

Parametry morfometryczne oceniano przy użyciu systemu analizy obrazu QUANTIMET 500 po czym przeprowadzono analizę statystyczną. Najwyższą dynamikę zmian parametrów morfometrycznych wykazywała włóknina typu I pokryta grupami zasadowymi wykazując spadek wymiaru najkrótszego o 70% wartości początkowej, obliczonej szerokości o 71% zaś wzrost współczynnika wypełnienia o 5,81%. Włóknina typu II wykazywała spadek wymiaru najkrótszego o 48% wartości początkowej, obliczonej szerokości włókien o 20%, i wzrost współczynnika wypełnienia o około 2,6%. Włóknina węglowa typu III wykazała spadek wymiaru najkrótszego i obliczonej szerokości o 58%, współczynnik wypełnienia wykazał wzrost o 7.3%. Należy wskazać, że pomiary dokonane w drugim tygodniu obserwacji nie ujawniały różnic pomiędzy grupami, z kolei pomiary dokonane w trzecim tygodniu obserwacji ujawniały najbardziej istotne różnice międzygrupowe.

Nasze wyniki wskazują na fakt zwiększenia odporności na biodegradację włókniny węglowej podanej modyfikacji chemicznej.

**Słowa kluczowe:** biomateriały - węgiel - biodegradacja - morfometria

## Wstęp

Liczne badania doświadczalne zajmowały się wpływem włóknistego biomateriału węglowego na reakcje tkankowe. Obejmowały one charakterystykę biomechaniczną protezowanej okolicy oraz proces biologicznego niszczenia materiału węglowego, biodegradacji. Zagadnienie biodegradacji włóknistych biomateriałów węglowych obejmuje zachowanie się ich w gojących się tkankach [1], z ukierunkowaniem na ich toksyczność, kancerogenność [2, 3, 4, 5, 6, 7], jak również parametry wytrzymałościowe. Wgajanie się implantów węglowych łączy się z reakcją zapalną przejawiającą się obecnością nacieków zapalnych, jak również rozpadem i fragmentacją włókien węglowych [7,8]. Badania biodegradacji włókniny węglowej będącej składową kompozytów węgiel-węgiel ujawniały zacieranie się struktury włóknienkowej, fragmentację włókien węglowych, zaś po około trzech miesiącach powstanie ubytków w obrzeżach włókien i ogniskowe pogrubienie niektórych włókien węglowych [9, 10, 11, 12].

Zasadniczym miejscem kontaktu tkanki z biomateriałem węglowym jest powierzchnia biomateriału, zawierająca zarówno grupy kwasowe jak i zasadowe [13, 14]. W przypadku modyfikacji powierzchni włókniny węglowej

Aim of the work was the morphometric comparison of the geometric values as the shortest diameter, curve breadth, and fullness coefficient/ratio, as factors of the biodegradative processes of the carbon cloth (used as a filling of the experimental osseous lesions in the rabbits mandibles). The tissue fragments from 48 rabbits were used. The osseous lesions (6 mm diameter) were made at the mandible base, and then were filled with three kinds of the carbon cloth.

1. carbon cloth type I - with acidic and basic groups on the surface,
2. carbon cloth type II - (processed through oxygenation) with acidic groups on the surface,
3. carbon cloth type III - (coated with pyrocarbon) - with basic groups on the surface.

All parameters were measured with QUANTIMET 500 and the measurements were analysed statistically. The highest changes (dynamics) of the morphometric parameters presents the carbon cloth type I (basic cloth) ( the 70% decrease of the shortest diameter during the observation, curve width - 71% decrease; fullness factor - 5.81% increase). The carbon cloth type II showed the decrease of the shortest diameter about 48%, curve width - decrease of 20%, fullness factor increased about 2.6%. The carbon cloth type III showed the decrease of the the shortest diameter about 58%, curve width - 56%, and the increase of the fullness ratio of 7.3%. It should be pointed out that the measurements from the 2nd week of the observation do not show the statistical significance between the groups, the most significant differences were shown in 3rd week. Our results points out, that the chemical modification of the cloth surface increases its durability.

**Key words:** biomaterial - carbon - biodegradation - morphometry

## Introduction

Numerous experimental studies dealt with an influence of carbon fibrous biomaterial on tissue reactions. They included biomechanical characteristic of prosthetic area and biological process of carbon material biodegradation. The issue of carbon fibrous biomaterials biodegradation includes their behavior in the healing tissue [1], their toxicity and cancerogenity [2, 3, 4, 5, 6, 7], as well as durability parameters. The healing of carbon implants is connected with an inflammatory reaction manifested by a presence of inflammatory infiltrations and also by a disintegration and fragmentation of carbon fibers [7, 8]. The study of biodegradation of fibrous carbon which is a component of carbon-carbon composites showed the fading away of the fibrous structure, fragmentation of carbon fibers, and three months later, the defects within the edges of fibers and focal thickening of some carbon fibers [9, 10, 11, 12].

Fundamental site of contact of the tissue with carbon biomaterial is a biomaterial surface containing both acidic and basic groups [13, 14]. In case of surface modification of carbon fibrous cloth by oxidation, it will get covered with acid, carboxyl, carbonyl and lacton groups [13, 14]. While, covering of the fiber surface being a part of carbon fibrous

drogą utleniania dochodzić będzie do jej pokrycia grupami kwasowymi, karboksylowymi, karbonylowymi i laktonowymi [13, 14]. Z kolei pokrycie powierzchni włókien wchodzących w skład włókniny węglem pirolitycznym zwiększy ich inertność biologiczną.

Badania własne wskazały na wahania średniego stopnia szarości szwu chirurgicznego wykonanego z nici węglowej podczas szesnastotygodniowego procesu biodegradacji, przy czym nić węglowa podlegała pracy mechanicznej podczas żucia [15]. Powstaje pytanie, czy w procesie biodegradacji włókniny węglowej służącej do wypełnień ubytków tkankowych i w zasadzie nie pracującej mechanicznie będzie dochodziło do zmian parametrów geometrycznych, jak również czy modyfikacja chemiczna powierzchni, a więc biologiczna reaktywność włókniny warunkuje zmiany tej wartości. Analiza pomiarów geometrycznych włókien węglowych wchodzących w skład włókniny węglowej może poszerzyć wiedzę o procesie ich biodegradacji.

## Material i metoda

Do pomiarów morfometrycznych wykorzystano archiwalny materiał histopatologiczny materiał doświadczalny. Podczas eksperymentu 64 dojrzałym królikom, mieszańcom obu płci o wadze od 2600 do 3200g wykonywano ubytki kostne o średnicy 6 mm i głębokości 3 mm w bocznych powierzchniach żuchwy. Ubytki wypełniano trzema rodzajami włókniny węglowej:

1. włókniną typu I - pokrytą na powierzchni grupami o charakterze kwasowym i zasadowym, nie poddana obróbce chemicznej (grupa doświadczalna I),
2. włókniną typu II - pokrytą na powierzchni grupami karboksylowymi, laktonowymi i karbonylowymi o charakterze kwasowym powstałymi podczas utleniania włókniny we wrzącym kwasie azotowym (grupa doświadczalna II),
3. włókniną typu III - będącą włókniną pokrytą na powierzchni warstwami pirowęgla o charakterze zasadowym (grupa doświadczalna III).

Zabieg wykonywano w znieczuleniu ogólnym ketaminą z zachowaniem jałowości. Ranę zaszywano warstwowo szwami z Dexonu. W okresie pooperacyjnym nie podawano zwierzętom żadnych leków. Zwierzęta poddawano eutanazji po 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 52 tygodniu od przeprowadzenia zabiegu. Wycinki tkanki kostnej, które utrwalano w 10% roztworze zobojętnionej formaliny, odwapniono elektrolitycznie w płynie Romeisa, po czym poddawano typowej obróbce histologicznej. Skrawki parafinowe o grubości 5  $\mu\text{m}$ , barwiono hematoksyliną i eozyną. Badanie morfometryczne obejmowało dostrzegalne fragmenty włókniny węglowej w postaci włókien węglowych widocznych w preparatach mikroskopowych.

Automatyczny pomiar morfometryczny obejmował:

- wymiar najkrótszy włókien węglowych - odpowiadający najmniejszej odległości pomiędzy zewnętrznymi obrysami włókna [16, 17],
- obliczoną szerokość włókien węglowych - wielkość odpowiadającą szerokości prostokąta o polu powierzchni oraz obwodzie mierzonego włókna [17],
- współczynnik wypełnienia włókien węglowych - będący pierwiastkiem stosunku obwodu wypukłego do obwodu rzeczywistego [17, 18].

Powyższe wartości mierzono wykorzystując system analizy obrazu QUANTIMET 500+ COLOR OPTION firmy LEICA. Wyniki poddano analizie statystycznej (STATISTICA '99 v.5.5) wykorzystując test Shapiro - Wilka celem oceny rozkładu wartości, oraz test Manna-Whitney. Analiza obejmowała porównanie wewnątrzgrupowe kolejnych tygodni wewnątrz grupy doświadczalnej, jak i porównanie międzygrupowe pomiędzy sobą wartości morfometrycz-

cloth by pyrolytic carbon will increase its biological inertness.

Own studies pointed out the average degree fluctuations of greyness level of the surgical suture made of carbon thread during sixteen-week biodegradation process while the suture underwent mechanical work during chewing [15]. Therefore, there is a question if geometric parameter changes occur in the biodegradation process of carbon fibrous cloth used for tissue defect filling and not working mechanically and another one if chemical modification of the surface, namely biological reactivity of the fiber is a condition for the changes of this value. Analysis of geometric measurements of carbon fibers being a component of carbon fibrous cloth can increase the knowledge of their biodegradation process.

## Material and method

Archival experimental histopathological material was used for morphometric measurements. During the experiment bone defects of 6mm diameter and 3 mm deep were performed in 64 fully grown rabbits of mixed sex and breed and weight of 2600 - 3500g, in lateral surfaces of mandible. The defects were filled with three kinds of carbon cloth:

1. carbon cloth of type I - the surface covered with groups of acidic and basic character, without chemical treatment (study group I)
2. carbon cloth of type II - the surface covered with carboxyl, lacton and carbonyl groups of acidic character created during oxidization of carbon cloth in boiling nitrogen acid (study group II)
3. carbon cloth of type III - the surface covered with the layers of pyrocarbon of basic character (study group III)

The surgery was performed in general ketamin anesthesia with sterility. The wound was sutured with Dexon. No medicines were administered to the animals in the postoperative period. The animals were subjected to euthanasia after 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 52 weeks after the surgery. The specimens of bone tissue fixed in 10% neutralized formalin solution were electrolytic decalcified in Romeis fluid; next they were subjected to typical histological treatment. 5 mm-paraffin sections were stained with hematoxylin and eosin. Morphometric examination included perceptible fragments of carbon cloth in the form of carbon fibres visible in microscopic preparations.

Automatic morphometric measurements included:

- the breadth of carbon fibers - corresponding to the smallest distance between the external outlines of the fiber [16, 17],
- the curve width of the carbon fibers - the size corresponding to the width of the oblong of the area and the perimeter of the measured fiber [17],
- the fullness coefficient - being an element of the convex perimeter and real perimeter ratio [17, 18].

The above described values were measured with the image analysis system QUANTIMET 500+ COLOR OPTION, by LEICA. The results were processed statistically (STATISTICA 99 v.5.5) Using Shapiro-Wilk test in order to evaluate the value distribution, as well as Mann-Whitney's test was used. The analysis included comparison of the subsequent weeks within the study group and also the comparison of the morphometric values of the same measurement points (weeks) among groups. Correlation of the mean greyness level was evaluated after some observation using Spearman test.

## Results

The analysis included 128 histopathological speci-

nych tych samych punktów pomiarowych (tygodni). Korelację średniego stopnia szarości z czasem obserwacji oceniono wykorzystując test Spearmana.

## Wyniki

Przeanalizowano 128 preparatów histopatologicznych pochodzących od 64 królików, w tym analizowano morfometrycznie 12101 fragmentów włókien węglowych. Charakter rozkładu analizowanych pomiarów geometrycznych we wszystkich grupach jak również we wszystkich okresach badawczych nie wykazywał zgodności z rozkładem normalnym ( $p < 0.01$ , test Shapiro-Wilka)

Wyniki pomiarów zestawiono w TAB.1-3.

### Wymiar najkrótszy włókien węglowych

W grupie doświadczalnej I analiza zmian wymiaru najkrótszego pomiędzy kolejnymi tygodniami obserwacji nie ujawniła istotnej zmiany wymiaru najkrótszego w pierwszych dwóch tygodniach obserwacji, w trzecim tygodniu zaobserwowano znamienne przyrost wymiaru najkrótszego. Pomiedzy trzecim a szóstym tygodniem doszło do znamiennego spadku wymiaru najkrótszego. Spadek zaistniał także pomiędzy szóstym a dziewiątym tygodniem obserwacji. W dwunastym tygodniu obserwowano znamienne wzrostu wymiaru najkrótszego. Nie zaobserwowano znamiennej różnicy pomiędzy dwunastym a dwudziestym czwartym tygodniem, natomiast w 52 tygodniu obserwacji stwierdzano znamienne spadek do wartości  $3.33 \mu\text{m}$ .

W grupie doświadczalnej II wewnątrzgrupowe porównania zmian wymiaru najkrótszego wykazały znamienne spadek wartości w 2 tygodniu, znamienne wzrost pomiędzy 3 a 6 tygodniem i znamienne spadek pomiędzy 9 a 12 tygodniem obserwacji.

Porównania wewnątrzgrupowe wymiaru najkrótszego w grupie doświadczalnej III wskazały natomiast nieznamiennie wahania tej wartości. (TAB.4).

### Obliczona szerokość włókien węglowych

Wartość przeciętna obliczonej szerokości włókien węglowych grupy I wykazywała nieznamienny wzrost w 2 i 3 tygodniu, zaś w 6 i 9 tygodniu dochodziło do znamiennego spadku. Z kolei w 12 tygodniu wzrost wartości przeciętnej był znamienne statystycznie a istotny spadek obserwowano pomiędzy 24 a 52 tygodniem.

Z kolei w grupie II wartość przeciętna obliczonej szerokości spadała w pierwszych trzech tygodniach, i po nieznamiennym wzroście w tygodniu 6 dochodziło do dalszego spadku, istotnego w 24 tygodniu.

W III grupie doświadczalnej porównania zmian obliczonej szerokości wskazują na znamienne wzrost obliczonej szerokości pomiędzy 2 a 6 tygodniem oraz znamienne spadek tej wartości pomiędzy 9 a 12 tygodniem (TAB. 5).

### Współczynnik wypełnienia

Analiza wewnątrzgrupowych zmian współczynnika wypełnienia w grupie doświadczalnej I wykazała znamienne wzrost współczynnika w okresie pomiędzy 2 a 9 i 24 a 52 tygodniem. Znamienne spadek wartości przeciętnej obserwowano pomiędzy 9 a 12 tygodniem.

W grupie doświadczalnej II zmiany te wskazują natomiast na znamienne wzrost współczynnika w 2 tygodniu jak i znamienne wahania ( wzrost i spadek pomiędzy 3 a 9 tygodniem).

W grupie doświadczalnej III obserwowano znamienne wzrost wartości przeciętnej w 9 i 24 tygodniu. (TAB.6).

### Porównania wartości morfometrycznych między grupami doświadczalnymi

Grupa doświadczalna I posiadała w 1 tygodniu wartość przeciętną wymiaru najkrótszego zbliżoną do grupy II i

mens from 64 rabbits, 12101 fragments of carbon fibers were analyzed morphometrically. The character of distribution of the analyzed geometric measurements in all groups in all study periods did not show any compatibility with a normal distribution ( $P < 0.01$ , Shapiro-Wilk test).

The results of measurements are compared in the TABLES 1-3.

### The shortest measurement of the carbon fibers

In the study group I, the analysis of the change of the breadth between subsequent observation weeks did not reveal any significant change in the breadth in the first two weeks of observation. In the third week, a significant increase of the breadth was observed. Between the third and the sixth week, a significant decrease of the breadth occurred. In the twelfth week, a significant increase of the breadth was observed. No significant difference was observed between the twelfth and the twenty fourth week, while in the 52nd week, a significant decrease to the value of  $3.33 \mu\text{m}$  was found.

In the II study group, the comparisons of the changes of the breadth within the group showed a significant decrease of value in the second week, a significant increase between the 3rd and the 6th week and significant decrease between the 9th and 12th week of observation.

The comparisons within the group of the breadth in the study group III showed insignificant fluctuations of this value (TAB. 4).

### The curve width of the carbon fibers

The mean value of the calculated carbon fiber width of the group I showed a significant increase in the 2nd and 3rd week, while in the 6th and 9th week a significant decrease occurred. In the 12th week an increase of the mean value was statistically significant while a significant decrease was observed between the 24th and 52nd week.

Next, in the group II, a mean value of the curve width decreased in the first three weeks and after the insignificant increase in the 6th week, a further decrease occurred which became significant in the 24th week.

The comparisons of the changes of the curve width in the III study group show a significant increase of the curve width between the 2nd and 6th week and a significant decrease of this value between the 9th and 12th week (TAB. 5).

### Fullness factor

The analysis within the group of the fullness factor changes in the I study group showed a significant increase of the coefficient in the periods between the 2nd and 9th, and the 24th and 52nd week. A significant decrease of the mean value was observed between the 9th and the 12th week.

In the II study group, these changes indicate a significant increase of the coefficient in the 2nd week as well as significant fluctuations (increase and decrease between the 9th and 24th week).

In the III study group, a significant increase of the mean value in the 9th and 24th week was observed (TAB. 6).

### The comparison of the morphometric values among the study groups

The mean value of the breadth in the I study group in the 1st week was very close to the groups II and III. A significant difference between the groups II and II indicating the smallest value in the group III was shown. In the third week all groups revealed significant differences with respect to one another. Starting from the 9th week, the significance of the differences between the groups I and III remained

III. Pomiedzy grupa II i III wykazano znamienne różnicę wskazującą na najmniejszą wartość w grupie III. W trzecim tygodniu wszystkie grupy wykazywały znamienne różnice względem siebie. Począwszy od tygodnia 9 utrzymywała się znamienność różnic pomiędzy I a III grupą. W grupie pierwszej dochodziło bowiem do wzrostu wymiaru najkrótszego w 12 tygodniu i postępującego spadku, z kolei w III grupie tylko postępującego spadku. Grupa II była natomiast zbliżona pod względem wartości jak i trendu zmian do grupy trzeciej (TAB. 7).

Obliczona szerokość włókien węglowych w porównaniu z wymiarem najkrótszym ujawniała znamienność międzygrupową już w 1 tygodniu. Największa wartość obliczonej szerokości wykazywała grupa II, najmniejszą grupa III. W trzecim tygodniu, grupy I od II i II od III różniły się wzajemnie. Warto zaznaczyć, że i ten parametr wskazuje na podobieństwo międzygrupowe grupy II i III pomiędzy 9 a 52 tygodniem (TAB. 8).

Międzygrupowe zróżnicowanie współczynnika wypełnienia stwierdzano w 3 i 6 tygodniu. Pomiedzy II a III grupą nie wykazano zmian znamiennych w okresie od 9 do 52 tygodnia (TAB. 9).

#### **Korelacja parametrów morfometrycznych z czasem biodegradacji.**

Korelacje wszystkich badanych parametrów morfometrycznych z czasem trwania obserwacji były wysoce znamienne statystycznie (TAB.10). Znak współczynnika korelacji R Spearmana wskazywał na korelację o charakterze ujemnym w przypadku wymiaru najkrótszego i obliczonej szerokości, zaś dodatnim w przypadku współczynnika wypełnienia.

Najsilniejsza korelacja ujemna (malejąca) dotyczyła doświadczalnej grupy pierwszej w przypadku tak wymiaru najkrótszego jak i obliczonej szerokości włókien węglowych.

Najsilniejszą korelację dodatnią (rosnącą) wykazano natomiast w grupie doświadczalnej II dla współczynnika wypełnienia.

## **Dyskusja**

Biomateriały węglowe wykorzystywane w medycynie obejmują stosunkowo rozległą grupę form węgla, przede wszystkim formy włókniste węgla w tym włókniny, włókna węglowe, tkaniny węglowe i tzw. roving czyli przędzę lub plecionkę węglową [19]. Inną postacią jest forma szklista węgla, znajdująca zastosowanie w okulistyce jak i stomatologii [20,21,22]. Zastosowanie implantów z włókniny węglowej celem wypełnienia ubytków kostnych zuchwy prowadziło do pojawienia się regeneracji tkanki kostnej [23]. Badanie histologiczne okolicy wszczepienia włókniny węglowej w okolicę ubytków wyrostków zębodołowych szczęki ujawniało cofanie się nacieku zapalnego, a powstała tkanka ziarninowa różnicowała się w kierunku tkanki łącznej włóknistej. Spotykano przy tym ogniskowy rozrost fibrocytów, zaś włókna tworzące włókninę węglową ulegały rozpadowi, fragmentacji [9,24].

Nieliczne badania doświadczalne [25,26] ujawniły przyrost grubości pojedynczych włókien węglowych w okresie pierwszych czterech tygodni, następnie spadek grubości do X tygodnia i kolejny wzrost ich grubości w XVI tygodniu. Inne pomiary także wskazywały na spadek średnicy włókien węglowych, pojawianie się ich pęknięć i zaburzenie układu włókien [25]. Proces biodegradacji włókniny węglowej będącej składową kompozytów węgiel-węgiel obejmował zacieranie się struktury włókninowej, pęknięcia włókien węglowych, zaś po około trzech miesiącach pojawiały się ubytki w obrzeżach włókien oraz odcinkowe pogrubienie niektórych włókien węglowych, ostatecznie docho-

on the same level. However, in the first group an increase of the breadth occurred in the 12th week and next, a progressive decrease followed, while in the group III only a progressive decrease occurred. The group II was very close in respect to the value and tendency of the changes to the third group (TAB. 7).

The curve width of the carbon fibers in comparison to the breadth showed a changeability among the groups as early as in the first week. The biggest value of the curve width was observed in the group II, and the smallest in the group III. In the third week, the group I differed from the group II, and the group II from III. It should be underlined that this parameter indicates a similarity between the groups II and III between the 9th and 52nd week (TAB.8).

The difference in the fullness factor among the groups was found in the 3rd and 6th week. No significant differences were found between the group II and III in the period from the 9th to 52nd week (TAB. 9).

#### **Correlation of the morphometric parameters with the biodegradation time.**

The correlations of all the examined morphometric parameters were statistically very significant in the time of observation (TAB.10). A symbol of correlation coefficient Spearman's R indicated a correlation of a negative character in case of the breadth and the curve width, while in case of the fullness factor it was positive.

The strongest negative correlation (decreasing) concerned the first study group both in case of the breadth and the curve width of carbon fibers.

The strongest positive correlation (increasing) was pointed out in the II study group for the fullness factor.

## **Discussion**

Carbon biomaterials used in medicine include relatively vast group of carbon forms, mainly fibrous carbon forms including fibrous carbon, carbon fibers, carbon cloths and so called roving, i.e. wattle or woven carbon [19]. Another form is a glassy carbon form applied in ophthalmology and dentistry [20,21,22]. The application of fibrous carbon implants in order to fill the mandible bone defects lead to the regeneration of bone tissue [23]. Histological examinations of the region of the fibrous carbon implantation into the defects of jaw alveolar processes revealed a withdrawal of an inflammatory infiltration and a newly created granulation tissue was differentiating towards the fibrous connective tissue. Also the focal growth of fibrocytes was met there, while the fibers of fibrous carbon underwent degradation and fragmentation [9,42].

Few experimental studies [25,26] revealed an increase of thickness of individual carbon fibers in the period of the first four weeks, next a decrease of the thickness up to the 10th week and another increase of the thickness in the 16th week. Other measurements also indicated a decrease of the diameter of carbon fibers, an appearance of cracking and violation of fiber system [25]. A biodegradation process of fibrous carbon being an element of carbon-carbon composites included fading of fibrous structure, carbon fiber cracking, and after three months, defects on the fiber edges and fragmental thickening of some carbon fibers appeared. Finally, the fibers were cracking and were covered with mesenchymal cells [9,10,11,12].

The results of the morphometric measurements of carbon fibers being a part of fibrous carbon proved a usefulness of each morphometric parameter in the analysis of different observation periods in relation to different types fibrous carbons. The difference occurring during fibrous carbon biodegradation in the I study group are best characterized by the breadth and the fullness factor.

dzilo do pęknięcia włókien i obrastania ich przez komórki mezenchymalne [9,10,11,12].

Wyniki pomiarów morfometrycznych włókien węglowych wchodzących w skład włókniny węglowej wykazały przydatność poszczególnych parametrów morfometrycznych w analizowaniu różnych okresów obserwacyjnych w odniesieniu do różnych typów włókien węglowych. Wymiar najkrótszy i współczynnik wypełnienia najlepiej charakteryzują różnice zachodzące podczas biodegradacji włókniny z I grupy doświadczalnej.

Najwyższą dynamikę zmian parametrów morfometrycznych w czasie wykazuje włóknina pokryta grupami o charakterze zarówno kwasowym jak i zasadowym, najsilniej ulegając biodegradacji (spadek przeciętnej wartości wymiaru najkrótszego o około 70%, obliczonej szerokości o 71%, wzrost współczynnika wypełnienia o 5.81%). Włóknina pokryta grupami kwasowymi zmniejszyła przeciętną wartość wymiaru najkrótszego o 48 %, obliczonej szerokości o 20%, współczynnik wypełnienia wzrastał o 2.6% . Włóknina pokryta warstwami pirowęgla o charakterze zasadowym wykazywała natomiast spadek wymiaru najkrótszego o 58%, obliczonej szerokości o 55.6%, współczynnik wypełnienia wzrastał o 7.3% . Zwraca natomiast uwagę zestawienie znamienności różnic międzygrupowych, wskazując na wzajemne podobieństwo wszystkich parametrów morfometrycznych w drugim tygodniu, istnienie najwyraźniejszych różnic międzygrupowych w trzecim tygodniu. Różnice w strukturze chemicznej powierzchni włókniny wydają się rzutować na proces biodegradacji włókniny odzwierciedlony w postaci korelacji poszczególnych wartości pomiarowych z czasem . Najsilniejszą korelację ujemną stwierdzono w grupie I i dotyczyła ona wymiaru najkrótszego oraz obliczonej szerokości włókien węglowych. Grupa druga i trzecia, wykazywały zbliżone wskaźniki współczynnika korelacji dla wszystkich parametrów morfometrycznych wskazując na spowolnienie procesu biodegradacji włókniny poddanej modyfikacji powierzchniowej w porównaniu z włókniną niemodyfikowaną. Warto wskazać, iż włókniny poddane modyfikacji powierzchniowej wykazują po rocznym okresie biodegradacji wyższe wartości zarówno przeciętnej wymiaru najkrótszego jak i obliczonej szerokości w porównaniu z włókniną niemodyfikowaną.

## Wniosek

Modyfikacja chemiczna powierzchni włókniny węglowej istotnie hamuje proces biodegradacji włókniny węglowej.

The highest dynamics of morphometric parameter changes with time was demonstrated by the fibrous carbon covered with groups of both acidic and basic character (a decrease of a mean value of the breadth by c. 70%, the curve width by 71%, an increase of fullness factor by 5.8%). The fibrous carbon covered with acidic groups decreased a mean value of the breadth by 2.6%. The fibrous carbon covered with pyrocarbon layers of basic character showed a decrease of the breadth by 7.3%. However, the comparison of the significance of differences among groups is noteworthy; it shows reciprocal similarity of all the morphometric parameters in the second week and the existence of the most distinct differences among groups in the third week. The differences in chemical structure of fibrous carbon surface seem to have an influence on fibrous carbon biodegradation process reflected in correlations of individual measure values in time. The strongest negative correlation was found in the group I and it related to the breadth and the curve width of the fibrous carbons. The second and third group showed similar indexes of the correlation coefficient for all the morphometric parameters which indicates slowing down of the biodegradation process of fibrous carbon exposed to surface modification as compared to unmodified fibrous carbon. It should be pointed out that the carbon the fibrous carbons exposed to a surface modification have, after one-year biodegradation, the values of both the mean breadth and the curve width in comparison with the unmodified fibrous carbon.

## Conclusion

Chemical modification of the fibrous carbon surface restrains essentially the biodegradation process of the fibrous carbon.

GROUP I - GRUPA I									
Week Tydzień	Number of measurements liczba pomiarów	Median Mediana	Minimal value Wartość najmniejsza	Maximal value Wartość największa	Lower quartile Kwartył dolny	Upper quartile Kwartył górny			
1	450	11.11	1.11	91.11	3.33	15.56			
2	423	11.11	1.11	98.89	3.33	14.44			
3	256	13.33	1.11	107.78	5.00	15.56			
6	671	10.00	1.11	81.11	3.33	15.56			
9	986	6.67	1.11	66.67	2.22	13.33			
12	553	8.89	1.11	218.89	3.33	15.56			
24	689	7.78	1.11	168.89	3.33	14.44			
52	619	3.33	1.11	163.33	2.22	8.89			
GROUP II - GRUPA II									
1	360	13.33	1.11	110.00	4.44	16.67			
2	342	11.11	1.11	96.67	3.33	14.44			
3	623	8.89	1.11	116.70	3.33	14.44			
6	245	12.22	1.11	114.40	4.44	15.56			
9	618	10.00	1.11	106.70	3.33	14.44			
12	461	8.89	1.11	96.67	3.33	14.44			
24	629	6.67	1.11	98.89	2.22	14.44			
52	415	5.56	1.11	110.00	2.22	14.44			
GROUP III - GRUPA III									
1	310	8.89	1.11	93.33	3.33	15.56			
2	483	8.89	1.11	114.44	3.33	15.56			
3	466	11.11	1.11	46.67	5.56	14.44			
6	360	8.89	1.11	128.89	3.33	16.12			
9	458	8.89	1.11	96.67	3.33	14.44			
12	334	6.67	1.11	81.11	3.33	14.44			
24	649	5.56	1.11	76.67	2.22	13.33			
52	703	5.56	1.11	74.44	2.22	14.44			

  

GROUP I - GRUPA I									
Week Tydzień	Number of measurements liczba pomiarów	Median Mediana	Minimal value Wartość najmniejsza	Maximal value Wartość największa	Lower quartile Kwartył dolny	Upper quartile Kwartył górny			
1	450	7.78	1.11	16.67	3.33	11.11			
2	423	8.89	1.11	17.78	3.33	11.11			
3	256	10.00	1.11	16.67	3.33	12.22			
6	671	6.67	1.11	17.78	2.22	11.11			
9	986	4.44	1.11	21.11	2.22	10.00			
12	553	6.67	1.11	22.22	2.22	11.11			
24	689	5.56	1.11	18.89	2.22	11.11			
52	619	2.22	1.11	18.89	2.22	5.56			
GROUP II - GRUPA II									
1	360	10.00	1.11	17.78	3.33	12.22			
2	342	7.78	1.11	15.56	3.33	11.11			
3	623	6.67	1.11	20.00	2.22	11.11			
6	245	10.00	1.11	16.67	3.33	11.11			
9	618	6.67	1.11	24.44	3.33	11.11			
12	461	6.67	1.11	17.78	2.22	11.11			
24	629	4.44	1.11	17.78	2.22	10.00			
52	415	4.44	1.11	16.67	2.22	11.11			
GROUP III - GRUPA III									
1	310	5.56	1.11	22.22	2.22	11.11			
2	483	6.67	1.11	16.67	2.22	12.22			
3	466	8.33	1.11	15.56	4.44	11.11			
6	360	6.67	1.11	16.67	2.22	11.11			
9	458	6.67	1.11	18.89	2.22	11.11			
12	334	4.44	1.11	16.67	2.22	11.11			
24	649	4.44	1.11	17.78	2.22	10.00			
52	703	4.44	1.11	17.78	2.22	10.00			

TABELA 1. Statystyka opisowa wymiaru najkrótszego włókna węglowego w kolejnych tygodniach obserwacji. Wartości podano w  $\mu\text{m}$ .  
TABLE 1. Descriptive statistics of the carbon fibre shortest diameter in consecutive weeks of the observation. Values in  $\mu\text{m}$ .

TABELA 2. Statystyka opisowa obliczonej szerokości włókna węglowych w kolejnych tygodniach obserwacji. Wartości podano w  $\mu\text{m}$ .  
TABLE 2. Descriptive statistics of the carbon fibre curve width in consecutive weeks of the observation. Values in  $\mu\text{m}$ .

GROUP I - GRUPA I						
Week Tydzień	Number of measurements liczba pomiarów	Median Mediana	Minimal value Wartość najmniejsza	Maximal value Wartość największa	Lower quartile Kwartył dolny	Upper quartile Kwartył górny
1	450	0.9315	0.395	1.250	0.825	1.008
2	423	0.9160	0.504	1.371	0.809	1.0-6
3	256	0.9340	0.521	1.371	0.840	1.010
6	671	0.9350	0.503	1.371	0.837	1.019
9	986	0.9590	0.518	1.371	0.882	1.052
12	553	0.9230	0.410	1.371	0.804	1.005
24	689	0.9370	0.414	1.371	0.824	1.030
52	619	0.9860	0.428	1.371	0.877	1.098
GROUP II - GRUPA II						
1	360	0.8865	0.391	1.371	0.7353	0.979
2	342	0.9255	0.469	1.371	0.830	0.995
3	623	0.8610	0.521	1.371	0.740	1.010
6	245	0.8980	0.395	1.371	0.742	0.978
9	618	0.9335	0.527	1.371	0.813	1.007
12	461	0.9470	0.468	1.371	0.831	1.033
24	629	0.9480	0.514	1.371	0.846	1.051
52	415	0.9510	0.448	1.371	0.855	1.056
GROUP III - GRUPA III						
1	310	0.9245	0.403	1.371	0.770	1.025
2	483	0.9200	0.428	1.371	0.781	1.027
3	466	0.9240	0.578	1.371	0.847	0.984
6	360	0.9125	0.467	1.261	0.788	1.044
9	458	0.9400	0.513	1.371	0.839	1.019
12	334	0.9405	0.539	1.371	0.814	1.029
24	649	0.9510	0.488	1.371	0.861	1.062
52	703	0.9500	0.506	1.371	0.846	1.08

TABELA 3. Statystyka opisowa współczynnika wypełnienia włókien węglowych w kolejnych tygodniach obserwacji  
TABLE 3. Descriptive statistics of the carbon fibre fullness factor in consecutive weeks of the observation.

Compared weeks Tygodnie porównywane	Probability Prawdopodobieństwo		
	Group I Grupa I	Group II Grupa II	Group III Grupa III
1 vs 2	0.508	0.006	0.717
2 vs 3	0.007	0.277	0.089
3 vs 6	0.001	0.0043	0.213
6 vs 9	0.000002	0.057	0.679
9 vs 12	0.000001	0.038	0.053
12 vs 24	0.095	0.09	0.078
24 vs 52	0.000001	0.926	0.584

TABELA 4. Porównania średniego stopnia szarości włókien węglowych w poszczególnych tygodniach obserwacji  
TABLE 4. Comparison of carbon fibre shortest diameter in subsequent weeks of the

Compared weeks Tygodnie porównywane	Probability Prawdopodobieństwo		
	Group I Grupa I	Group II Grupa II	Group III Grupa III
1 vs 2	0.9366	0.004	0.55
2 vs 3	0.0842	0.07	0.044
3 vs 6	0.00001	0.0024	0.009
6 vs 9	0.00004	0.07	0.402
9 vs 12	0.00001	0.19	0.021
12 vs 24	0.094	0.002	0.061
4 vs 52	0.0000001	0.63	0.937

TABELA 5. Porównania obliczonej szerokości włókien węglowych w poszczególnych tygodniach obserwacji  
TABLE 5. Comparison of carbon fibre curve width in subsequent weeks of the observation

Compared weeks Tygodnie porównywane	Probability Prawdopodobieństwo		
	Group I Grupa I	Group II Grupa II	Group III Grupa III
1 vs 2	0.35	0.0001	0.713
2 vs 3	0.000006	0.284	0.425
3 vs 6	0.0000001	0.00002	0.198
6 vs 9	0.000008	0.0004	0.023
9 vs 12	0.0000001	0.23	0.525
12 vs 24	0.053	0.164	0.015
24 vs 52	0.0000001	0.95	0.957

TABELA 6. Porównania współczynnika wypełnienia włókien węglowych w poszczególnych tygodniach obserwacji  
TABLE 6 Comparison of carbon fullness factor in subsequent

Week Tydzień	Probability Prawdopodobieństwo		
	Compared groups Porównywane grupy		
	I vs II	II vs III	I vs III
1	0.052991	0.102746	0.002901
2	0.802733	0.583625	0.722825
3	0.000146	0.040783	0.005257
6	0.014720	0.720468	0.081978
9	0.0000001	0.000070	0.290022
12	0.086960	0.009445	0.415701
24	0.029317	0.000270	0.137546
52	0.0000001	0.0000001	0.369379

TABELA 7. Porównania międzygrupowe wymiaru najkrótszego  
TABLE 7. The shortest diameter comparisons among analyzed groups



Week Tydzień	Probability Prawdopodobieństwo			Shortest diameter Liczba pomiarów	Spearman R R Spearmana	Probability Prawdopodobieństwo
	Compared groups Porównywane grupy					
	I vs II	I vs III	II vs III	Wymiar najkrótszy		
1	0.027233	0.026054	0.000122	4647	-0.158	$3.05 \times 10^{-27}$
2	0.392247	0.118511	0.477446	3691	-0.109	$3.31 \times 10^{-11}$
3	0.000018	0.072279	0.000339	3763	-0.106	$6.49 \times 10^{-11}$
6	0.010898	0.693962	0.017763	Curve width Obliczona szerokość		
9	0.0000001	0.000033	0.526690	4647	-0.189	0.00000001
12	0.490745	0.017840	0.120898	3691	-0.124	$3.271 \times 10^{-14}$
24	0.017957	0.000403	0.214054	3763	-0.130	$1.38 \times 10^{-15}$
52	0.0000001	0.0000001	0.132066	Fullness factor Współczynnik wypełnienia		
				4647	0.092	$1.32 \times 10^{-11}$
				3691	0.106	$9.79 \times 10^{-11}$
				3763	0.1015	$4.37 \times 10^{-10}$

TABELA 10. Korelacja parametrów morfometrycznych z czasem biodegradacji.

TABLE 10. Morphometric parameters correlation with biodegradation time.

Week Tydzień	Probability Prawdopodobieństwo			Shortest diameter Liczba pomiarów	Spearman R R Spearmana	Probability Prawdopodobieństwo
	Compared groups Porównywane grupy					
	I vs II	I vs III	II vs III	Wymiar najkrótszy		
1	0.000054	0.440442	0.006765	4647	-0.158	$3.05 \times 10^{-27}$
2	0.369158	0.962654	0.595010	3691	-0.109	$3.31 \times 10^{-11}$
3	0.0000001	0.0000001	0.292599	3763	-0.106	$6.49 \times 10^{-11}$
6	0.000007	0.025081	0.023401	Curve width Obliczona szerokość		
9	0.0000001	0.001325	0.113785	4647	-0.189	0.00000001
12	0.019574	0.096244	0.720368	3691	-0.124	$3.271 \times 10^{-14}$
24	0.039497	0.002516	0.336231	3763	-0.130	$1.38 \times 10^{-15}$
52	0.000356	0.004540	0.372783	Fullness factor Współczynnik wypełnienia		
				4647	0.092	$1.32 \times 10^{-11}$
				3691	0.106	$9.79 \times 10^{-11}$
				3763	0.1015	$4.37 \times 10^{-10}$

TABELA 9. Porównania międzygrupowe współczynnika wypełnienia.

TABLE 9. The fullness factor comparisons among analyzed groups.

Week Tydzień	Probability Prawdopodobieństwo			Shortest diameter Liczba pomiarów	Spearman R R Spearmana	Probability Prawdopodobieństwo
	Compared groups Porównywane grupy					
	I vs II	I vs III	II vs III	Wymiar najkrótszy		
1	0.027233	0.026054	0.000122	4647	-0.158	$3.05 \times 10^{-27}$
2	0.392247	0.118511	0.477446	3691	-0.109	$3.31 \times 10^{-11}$
3	0.000018	0.072279	0.000339	3763	-0.106	$6.49 \times 10^{-11}$
6	0.010898	0.693962	0.017763	Curve width Obliczona szerokość		
9	0.0000001	0.000033	0.526690	4647	-0.189	0.00000001
12	0.490745	0.017840	0.120898	3691	-0.124	$3.271 \times 10^{-14}$
24	0.017957	0.000403	0.214054	3763	-0.130	$1.38 \times 10^{-15}$
52	0.0000001	0.0000001	0.132066	Fullness factor Współczynnik wypełnienia		
				4647	0.092	$1.32 \times 10^{-11}$
				3691	0.106	$9.79 \times 10^{-11}$
				3763	0.1015	$4.37 \times 10^{-10}$

TABELA 8. Porównania międzygrupowe obliczonej szerokości.

TABLE 8. The curve width comparisons among analyzed groups.

## Piśmiennictwo

- [1] Szczurek - Katańska M.: "Wpływ włókny węglowej o różnej mikrostrukturze i chemicznej budowie powierzchni na gojenie się ran kostnych żuchwy u królików" Praca doktorska. Śląska Akademia Medyczna, Zabrze 1999 r.
- [2] Bjork V.O.: "The pyrolytic carbon occluder for the Bjork-Shiley tilting disc valve prosthesis" Scand J Thorac Cardiovasc Surg 1972;6:109-113
- [3] Borkos J.C.: "Carbon biomedical devices" Carbon 1977;15:355-371

## References

- [4] Donnet J.B., Bansal R.C.: "Carbon fibers". Marcel Dekker Inc. N.Y. 1990
- [5] Haubold A.D., Shim H.S., Borkos J.C.: "Carbon Biomedical devices" w: Williams D.F. (red): "Biocompatibility of clinical implant materials", vol.II, CRC Press, Boca Raton 1982
- [6] Haubold A.: "Carbon in Prosthetics". Ann N.Y.Acad Sci 1977;283:383-395
- [7] Pampuch R.: "Materiały węglowe" w Kuś W.M. (red): "Biomateriały w Medycynie" Drukarnia Agencji Poligraficzno-Wydawniczej KARNIOWICE, 1993, s.19
- [7] Pampuch R.: "Materiały węglowe" w Kuś W.M. (red): "Biomateriały w Medycynie" Drukarnia Agencji Poligraficzno-Wydawniczej KARNIOWICE, 1993, s.19
- [8] Pykało R.: "Obrazy mikroskopowe i radiologiczne implantów węglowych" w: Kuś W.M. (red): "Biomateriały w Medycynie" Drukarnia Agencji Poligraficzno-Wydawniczej KARNIOWICE, 1993, s.89-91
- [9] Cieślak T., Pogorzelska-Stronczak B., Szczurek Z., Sabat D.: "Observacje nad wpływem włókny węglowej na gojenie się tkanki kostnej w ubytkach pooperacyjnych wyrostków zębodołowych szczęk" Materiały III Konferencji "Biomateriały Węglowe" Ryto 1992, s23-28
- [10] Cieślak T.: "Płytki i śruby z kompozytu węgiel-węgiel do zespożeń odłamów żuchwy. Badania doświadczalne i kliniczne." Rozprawa habilitacyjna. Śl.A.M. Katowice 1993r.
- [11] Cieślak T., Pogorzelska-Stronczak B., Szczurek Z., Skulski S., Sabat D.: "Technika skaningowa w ocenie płytek i śrub z kompozytu węgiel-węgiel stosowanych do zespożeń żuchwy" Inż Mater 1993;5:142-3
- [12] Cieślak T., Pogorzelska-Stronczak B., Szczurek Z., Sabat D., Chłopek J., Skulski S.: "Kliniczna i histopatologiczna ocena zespożeń złamanej żuchwy przy pomocy płytek i śrub wykonanych z kompozytu węgiel-węgiel". Inż Mater 1993;5:140-2
- [13] Błażewicz M., Błażewicz S., Wajler C.: "Mechanical and implant behaviour of chemically modified carbon braids" Ceramics Int 1994;20:99-103
- [14] Czajkowska B., Błażewicz M.: Phagocytosis of chemically modified carbon materials. Biomaterials 1997;18:69-74
- [15] Dąbrowka K., Nożyński J., Zembala - Nożyńska E., Błażewicz S.: "Średni stopień szarości - obiektywny parametr biodegradacji włókien węglowych" Inżynieria Biomateriałów 2001;13:3-8
- [16] Zieliński K.W.: "Zarys zasad histomorfometrii w badaniach patomorfologicznych". Pol J Pathol 45, suppl4, 1994
- [17] QUANTIMET 500 + User Manual, Leica, Cambridge 1994
- [18] Oberholzer M.: "Shape descriptors in diagnosis" Acta Stereol 1992,11:63
- [19] Chłopek J.: "Kompozyty węgiel-węgiel. Otrzymywanie i zastosowanie w medycynie" Ceramika 52. Pol Biul Ceram. No 14. 1997. Kraków
- [20] Fraunhofer J.A., L' Estange P.R., Mack A.O.: "Materials science in dental implantation and a promising new material: vitreous carbon". Bioengineering 1971;6:114
- [21] Gierkowa A., Kamińska - Olechnowicz B., Olechnowicz A.: "Keratoprotezowanie" Klin Oczna 1982;84:375-7
- [22] Schnitman P.A., Woolfson M.W., Feingold L., Gettleman H.M., Freedman H.M., Kalis P.J., Buchanan W., Schulman L.B.: "Vitreous carbon implants: a five-year study in baboons". J Prosthet Dent 1980;44:190-200
- [23] Pogorzelska-Stronczak B., Szczurek Z., Cieślak T., Sabat D.: "Badania doświadczalne i kliniczne nad wpływem włókny węglowej na gojenie ubytków kości szczęk" w: Kuś W.M. (red): "Biomateriały w Medycynie" Drukarnia Agencji Poligraficzno-Wydawniczej KARNIOWICE, 1993, s.232-235
- [24] Pogorzelska-Stronczak B., Skulski S., Szczurek Z., Cieślak T., Sabat D.: "Ocena histopatologiczna tkanek otaczających węglowy i metalowy szew kostny łączący odłamy żuchwy u królików". Inż Mater 1993;5:128-9
- [25] Pogorzelska-Stronczak B., Skulski S., Szczurek Z., Cieślak T.: "Ocena powierzchni nici węglowej umieszczonej w tkance kostnej żuchwy królików na podstawie badań w mikroskopie skaningowym" Inż Mater 1993;5:127-8
- [26] Skulski S.: "Ocena przydatności nici węglowej do zespożenia odłamów żuchwy na podstawie badań doświadczalnych" rozprawa doktorska, Śl.A.M. Zabrze 1993