



Rafał Brożek¹, Elżbieta Paszyńska², Ryszard Koczorowski¹, Barbara Dorocka-Bobkowska¹

Wchłanianie wody przez wybrane materiały polimerowe, stosowane w stałych i ruchomych protezach zębowych — badania eksperymentalne

Water absorption by selected polymers used in fixed and removable dentures — experimental study

¹ Klinika Gerostomatologii i Patologii Jamy Ustnej, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

² Zakład Stomatologii Zintegrowanej, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

DOI: <http://dx.doi.org/10.20883/df.2018.3>

STRESZCZENIE

Wstęp. Macierz organiczna kompozytu wzmocnionego włóknem (FRC), w zależności od składu chemicznego, może w różnym stopniu chłonać wodę. Cząsteczki wody, dyfundujące w przestrzenie pomiędzy łańcuchami polimerowymi, mogą wywołać zmianę wymiarów materiału. Takie rozluźnienie przestrzennej sieci polimerowej przekłada się niejednokrotnie na zmianę parametrów kompozytu, w tym jego wytrzymałości mechanicznej.

Cel. Celowe wydaje się zatem przeprowadzenie badań chłonności wody przez materiały polimerowe stosowane w stomatologii do budowy uzupełnień protetycznych.

Materiał i metody. W badaniu użyto dostępnych komercyjnie w sprzedaży tworzyw wzmocnionych włóknem poliaramidowym — Podwiązka (ARKONA Laboratorium Farmakologii Stomatologicznej, Polska), Dentapreg PFM (ADM, Czechy) — oraz kompozytowego materiału eksperymentalnego wzmocnionego ciągłym włóknem polietylenowym o ultradużej masie cząsteczkowej, UHMWPE, wytworzonego w ARKONA LFS (Polska). Próbkki badanych materiałów przechowywane były w roztworze śliny syntetycznej i ważone w 1., 7., 14., 21., i 28. dniu trwania eksperymentu.

Wyniki. Wyniki otrzymane dla materiału Podwiązka różniły się w sposób istotny statystycznie ($p = 0,026$) pomiędzy pierwszym a drugim pomiarem wagi. Dla materiału Dentapreg PFM różnice istotnie statystycznie wystąpiły pomiędzy 1. a 2. pomiarem ($p < 0,001$), pomiędzy 1. a 3. ($p < 0,001$) oraz pomiędzy 1. a 4. ($p = 0,033$). Nie zaobserwowano różnic pomiędzy parametrami mierzonymi dla materiału UHMWPE.

Wnioski. Dentapreg PFM wykazuje największe właściwości absorpcyjne wody. Materiał Podwiązka wykazuje absorpcję oraz wzrost ciężaru tylko pomiędzy 1. a 2. pomiarem. Materiał eksperymentalny (UHMWPE) nie zwiększa istotnie swojego ciężaru w żadnym z przeprowadzonych pomiarów. Sorpcja wody przez wszystkie badane materiały spełnia założenia normy PN-EN ISO 10477.

Słowa kluczowe: absorpcja wody, kompozyt wzmacniany włóknem (FRC), sztuczna ślina, zmiany ciężaru.

ABSTRACT

Introduction. The matrix of fiber-reinforced composite (FRC), depending on the chemical composition, can absorb water. Water molecules diffusing into the spaces between the polymer chains can cause a change in the dimensions of the material. Such relaxation of the polymer network often leads to a change in composite parameters, including its mechanical strength.

Aim. It therefore seems advisable to carry out tests on the water absorption of selected polymer materials used in dentistry for the construction of fixed and removable dental restorations.

Material and Methods. The research used commercially available fiber-reinforced composites: Podwiązka (ARKONA LFS, Poland), Dentapreg PFM (ADM, Czech Republic) and experimental material reinforced with ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) manufactured in ARKONA LFS (Poland). Samples of the tested materials were stored in a solution of synthetic saliva and weighed on the 1st, 7th, 14th, 21st and 28th day of the experiment.

Results. For the Podwiązka material, the results differed statistically significantly ($p = 0.026$) between the first and the second measurement of weight. For Dentapreg PFM, statistically significant results occurred between the 1st and 2nd measurements ($p < 0.001$), between 1st and 3rd ($p < 0.001$) and between 1st and 4th ($p = 0.033$). No differences were observed between the parameters measured for the UHMWPE material.

Conclusions. Dentapreg PFM shows the highest absorption of water whereas Podwiązka demonstrates water absorption only between first and second measurements and an increase in its weight. UHMWPE the experimental material did not significantly increase its weight in any of the measurements carried out. The water sorption of all tested materials complies with the PN-EN ISO 10477 standard.

Keywords: water absorption, fiber-reinforced composites (FRC), artificial saliva, weight change.

Wprowadzenie

Materiały wzmocnione włóknem (ang. *fiber-reinforced composites*, FRC) to najczęściej systemy złożone z mieszaniny oligomerów metakrylanowych, polimetakrylanu metylu (PMMA) oraz włókien stanowiących wypełnienie i wzmacniających strukturę materiału. Postęp technologiczny związany z inżynierią materiałową sprawił, że możliwe stało się zastosowanie z powodzeniem tego typu materiałów w stomatologii, a szczególnie w wykonawstwie koron i mostów protetycznych [1].

Macierz organiczna tworzywa FRC wchłania wodę na drodze dyfuzji. Cząsteczki wody wnikają w wolne obszary, utworzone pomiędzy łańcuchami makrocząsteczek polimerów, co skutkuje rozluźnieniem sieci przestrzennej materiałów. Zmiana objętości i wymiarów macierzy organicznej jest z reguły nieznaczna i odwracalna. Niemniej eksploatacja materiału, przez cały okres użytkowania znajdującego się w wilgotnym i zmiennym środowisku jamy ustnej, może być przyczyną nieodwracalnych zmian parametrów fizyko-chemicznych materiału kompozytowego [2].

Cząsteczki wody działają na macierz organiczną jak plastyfikatory. Dochodzi do rozluźnienia naprężeń wewnętrznych, powstających pomiędzy łańcuchami polimerowymi, co może niekorzystnie wpływać na zmianę kształtu i właściwości mechanicznych materiałów typu FRC [3–5]. Ilość absorbowanej wody zależy często od ilości włókien zawartych w materiale oraz składu macierzy organicznej. Zmniejszenie ilości oligomerów podatnych na działanie rozpuszczalników polarnych oraz wzrost zawartości włókien polimerowych nieabsorbujących wody przekładają się na spadek chłonności wody przez materiał kompozytowy i może niekorzystnie wpływać na stabilność wymiarową materiału [6–8].

Dentystyczne konstrukcje typu FRC to systemy złożone z mieszaniny hydrofilowych oligomerów dimetakrylanowych — 2,2-bis-[4,4-(2'-hydroksy-3'-metakryloiloksypropoksy)fenilo]propanu (bis-GMA), dimetakrylanu glikolu trietylenowego (TEGDMA) oraz 1,6-bis (metakryloksy-2-etoksykarbonyloamino)-2,2,4-trimetyloheksanu (UDMA). Ich występowanie w składzie chemicznym kompozytu może negatywnie wpływać na zdolności absorpcyjne materiału [8]. Włókna nie łączą się trwale z matrycą organiczną. W zależności od rodzaju włókien ich powierzchnia wymaga modyfikacji chemicznej, np. silanizacji lub utleniania. Brak chemicznego połączenia pomiędzy włóknem a macierzą organiczną, w konsekwencji — materiałem kompozytowym, może prowadzić

do powstawania pustych przestrzeni wypełnionych powietrzem w obrębie systemu FRC. W wilgotnym środowisku jamy ustnej przestrzenie takie mogą łatwo zapełniać się płynami, co zwiększa powierzchnię kontaktu rozpuszczalnika z uzupełnieniem i w efekcie może prowadzić do szybszej degradacji materiału [6].

Dostępne w sprzedaży materiały FRC powinny spełniać wymogi stawiane materiałom stomatologicznym służącym do uzupełnienia braków zębów lub ich utraconych twardych tkanek. Sama zaś eksploatacja materiału w trudnym i zmiennym środowisku jamy ustnej nie powinna wywoływać negatywnych zmian w jego strukturze, skutkujących pogarszaniem się właściwości mechanicznych uzupełnień. Zminimalizowanie podatności materiałów na sorpcję wody wydaje się więc jednym z kluczowych działań mogących zapewnić pożądaną trwałość uzupełnień FRC.

Cel

Celem pracy była ocena właściwości sorpcyjnych trzech polimerowych materiałów wzmocnionych włóknami różnego typu.

Materiał i metody

W badaniu użyto dostępnych komercyjnie w sprzedaży tworzyw wzmocnionych włóknem meta-aramidowym (Podwiązka, ARKONA LFS, Polska), szklanym typu E (Dentapreg PFM, ADM, Czechy) oraz materiału eksperymentalnego wzmocnionego włóknem polietylenowym o ultradużej masie cząsteczkowej (UHMWPE), wytworzonym w ARKONA LFS (Polska).

Badanie zostało przeprowadzone w oparciu o normę PN-EN ISO 10477 Stomatologia. Materiały polimerowe na korony i mosty [9]. Przygotowano 6 próbek o wymiarach 15 mm x 2,5 mm x 1,4 mm. Każda próbka przechowywana była w cieplarni przez 28 dni, w temperaturze 37°C, w 20 ml roztworu śliny syntetycznej, którą otrzymano przez rozpuszczenie w 1 dm³ wody destylowanej związków chemicznych w następujących ilościach: NaCl (0,40 g), KCl (0,4 g), NaOH (0,05 g), CaCl₂·2H₂O (0,22 g), NaH₂PO₄ (0,12 g) i mocznik (1 g). Próbkę ważono po zanurzeniu w roztworze śliny syntetycznej w 1., 7., 14., 21. i 28. dniu trwania eksperymentu na wadze elektronicznej z dokładnością do 0,0001 g. Za każdym razem przed wykonaniem pomiaru próbki osuszano, dotykając bibułą, dopóki nie przestały być widoczne ślady wilgoci na ich powierzchni.

Wyniki

Przeprowadzono analizę podstawowych statystyk opisowych wraz z testami Shapiro-Wilka, jak rów-

niez analizę wariancji w schemacie mieszanym, z wykorzystaniem oprogramowania IBM SPSS Statistics 23. Za poziom istotności uznano klasyczny próg $\alpha = 0,05$.

Podstawowe statystyki opisowe uwzględnionych w pracy zmiennych ilościowych

W pierwszym kroku policzone zostały podstawowe statystyki opisowe badanych zmiennych ilościowych, wraz z testem Shapiro-Wilka, sprawdzającym normalność rozkładu tych zmiennych. Test ten wykazał, że rozkład zmiennych ilościowych wykonanych w 5 badanych pomiarach różni się od rozkładu normalnego. W takim wypadku zdecydowano się przeanalizować wartość skośności. W przypadku gdy jej wartość bezwzględna nie przekracza 2, można przyjąć, że rozkład jest zbliżony do rozkładu normalnego. Taką sytuację odnotowano w przypadku wszystkich uwzględnionych w badaniu zmiennych ilościowych. Można zatem uznać, że badane rozkłady nie są znacząco asymetryczne względem średniej. Dlatego w niniejszej pracy wykonywane będą testy parametryczne, o ile tylko będą spełnione ich pozostałe założenia. Wyniki zestawiono w **tabeli 1**.

Porównanie wyników dla badanych materiałów w pięciu pomiarach

Celem odpowiedzi na pytanie badawcze, czy istnieją różnice pomiędzy wybranymi trzema badanymi materiałami, których zmierzono masę w 1. (Pomiar 1), 7. (Pomiar 2), 14. (Pomiar 3), 21. (Pomiar 4) i 28. (Pomiar 5) dni trwania eksperymentu, wykonano wieloczynnikową analizę wariancji w schemacie mieszanym (5) x 3: (wykonywany pięciokrotnie pomiar parametrów — zmienna Pomiar) x trzy grupy podzielone według zastosowanego materiału Podwiązka, Dentapreg PFM lub UHMWPE — zmienna grupa. Uzyskano istotny statystycznie

nie efekt główny zmiennej Pomiar: $F(4;9) = 77,74$; $p < 0,001$; $\omega^2 = 0,97$. Zaobserwowana siła efektu była bardzo duża, o czym świadczy obliczona wartość ω^2 .

Wynik efektu głównego zmiennej grupa okazał się również istotny statystycznie: $F(2;12) = 552,37$; $p < 0,001$; $\omega^2 = 0,99$. Zaobserwowana siła efektu była podobnie jak w przypadku zmiennej Pomiar bardzo duża. Efekt interakcji obu zmiennych również okazał się istotny statystycznie: $F(8;18) = 4,92$; $p < 0,001$; $\omega^2 = 0,82$. Siła efektu okazała się duża.

W świetle powyższego wykonano analizę efektów prostych z zastosowaniem poprawki Bonferroni dla porównań wielokrotnych. Okazało się, że wynik dla materiału Podwiązka różnił się pomiędzy pierwszym a drugim pomiarem w sposób istotny statystycznie ($p = 0,026$). Drugi pomiar materiału Podwiązka okazał się mieć wyższą wartość niż pomiar pierwszy, o czym świadczy ujemna różnica średnich, policzona między nimi. Masa dla materiału Dentapreg PFM istotnie statystycznie zwiększyła się pomiędzy pierwszym pomiarem a kolejno drugim, trzecim i czwartym pomiarem. Wynik poziomu istotności statystycznej pomiarów pomiędzy 1 a 2 pomiarem wynosił $p < 0,001$, pomiędzy 1 a 3: $p < 0,001$, a pomiędzy 1 a 4: $p = 0,033$. Nie zaobserwowano różnic pomiędzy mierzonymi parametrami materiału eksperymentalnego UHMWPE w pięciu badanych pomiarach. Wyniki analizy efektów prostych w tym wypadku nie dały wyników istotnych statystycznie — dla każdego wykonanego pomiaru $p = 1,000$. Oznacza to, że Dentapreg PFM wykazywał największe własności absorpcyjne, wykazując absorpcję (rozumianą jako zwiększanie masy) pomiędzy pomiarami 1–4 (bez istotnej różnicy w pomiarze 5). Materiał Podwiązka wykazywał wzrost masy jedynie pomiędzy 1 a 2 pomiarem, zaś UHMWPE w ogóle istotnie nie zwiększył swojej masy w żadnym pomiarze. Wyniki przedstawiono w **tabeli 2** i na **rycynie 1**.

Tabela 1. Podstawowe statystyki opisowe badanych zmiennych ilościowych — wyniki pięciu pomiarów zastosowanych w badaniu sorpcyjnym wody

Table 1. Basic statistics of the quantitative variables under study — the results of five measurements used in the sorption study

	M	Me	SD	Sk.	Kurt.	Min.	Maks.	S-W	p
Pomiar 1	0,0168	0,0071	0,02	0,85	-1,38	0,01	0,04	0,688	< 0,001
Pomiar 2	0,0183	0,0090	0,01	0,87	-1,29	0,01	0,04	0,696	< 0,001
Pomiar 3	0,0185	0,0096	0,01	0,85	-1,36	0,01	0,04	0,699	< 0,001
Pomiar 4	0,0193	0,0103	0,01	0,80	-1,53	0,01	0,04	0,677	< 0,001
Pomiar 5	0,0197	0,0108	0,01	0,86	-1,24	0,01	0,04	0,735	0,001

M — średnia; Me — mediana; SD — odchylenie standardowe; Sk. — skośność; Kurt. — kurtoza; Min. i Maks. — najniższa i najwyższa wartość rozkładu; S-W — wynik testu Shapiro-Wilka; p — istotność

Dyskusja

Woda jest absorbowana w głąb matrycy organicznej na drodze dyfuzji. Dwukierunkowa migracja cząsteczek wody oraz luźno związanych z macierzą monomerów resztkowych i innych, nieprzereagowanych produktów reakcji polimeryzacji wywołana jest energią kinetyczną poszczególnych molekuł i zachodzi do chwili ustalenia równowagi dynamicznej układu. Masa FRC pozostaje wówczas stała i zasadniczo nie ulega dalszym zmianom [10].

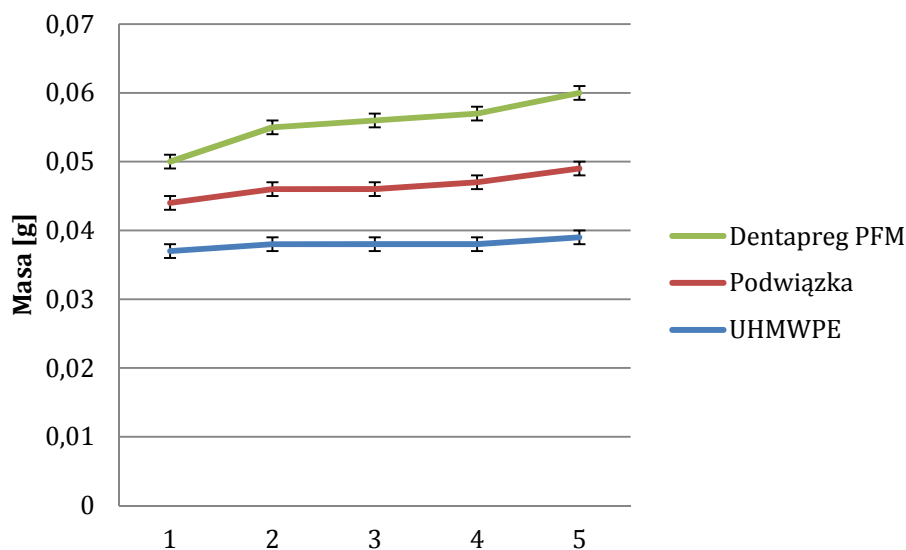
Zjawisko absorpcji wody zachodziło w badaniu równocześnie dla wszystkich materiałów, jednak proces ten w sposób istotny statystycznie we wszystkich analizowanych przedziałach czasowych dotyczył wyłącznie materiału Dentapreg PFM. Dla Podwiązki otrzymane wyniki różniły się w sposób istotny statystycznie ($p = 0,026$) jedynie w początkowej fazie doświadczenia, pomiędzy pierwszym a drugim pomiarem wagi. W dalszej części eksperymentu zmiany odpowiadały stanowi wzajem-

Tabela 2. Podsumowanie parametrów badanych materiałów w kolejnych pomiarach

Tabel 2. Summary of parameters of tested materials in subsequent measurements

		M	SE	95% CI	
				LL	UL
Materiał eksperymentalny	1	0,037	0,001	0,035	0,040
	2	0,038	0,001	0,035	0,040
	3	0,038	0,001	0,036	0,040
	4	0,038	0,001	0,037	0,040
	5	0,039	0,001	0,036	0,042
Podwiązka	1	0,007	0,001	0,005	0,010
	2	0,008	0,001	0,005	0,011
	3	0,008	0,001	0,006	0,010
	4	0,009	0,001	0,008	0,011
	5	0,010	0,001	0,007	0,013
Dentapreg PFM	1	0,006	0,001	0,003	0,008
	2	0,009	0,001	0,006	0,012
	3	0,010	0,001	0,007	0,012
	4	0,010	0,001	0,009	0,012
	5	0,011	0,001	0,008	0,014

M — średnia; SE — błąd standardowy; 95%CI — przedział ufności dla różnicy między średnimi; LL i UL — dolna i górna granica przedziału ufności



Rysunek 1. Masa badanych materiałów w kolejnych pomiarach

Figure 1. The weight of the tested materials in subsequent measurements

nie znoszących się sił międzycząsteczkowych, niepowodujących wspólnej wymiany masy między ośrodkami.

Ilość absorbowanej wody wzrasta proporcjonalnie wraz ze wzrostem objętości polimerowej macierzy organicznej i zmniejsza się wraz ze wzrostem ilości zatopionych w niej włókien wzmacniających. Ilość wody absorbowanej przez FRC powinna być zatem mniejsza w porównaniu z żywicami, w których wypełniaczem są nieciągle włókna, a cząstki nieorganiczne szkła, krzemionki itp. różnej geometrii [8]. Przechowywanie żywicy organicznej wzmocnionej włóknem szklanym w sztucznej ślinie przez 180 tygodni sprawia, że wytrzymałość takiego materiału spada o 27% [11].

Żywice organiczne są z reguły hydrofilowe. Wykazano, że w porównaniu z matrycami, w składzie których znajdują się monomery HEMA i bis-GMA, macierz utwardzana termicznie oparta na polimerach liniowych (takich jak polimetakrylan metylu), wchodzących w skład budowy np. ruchomych protez zębowych, ogranicza sorpcję wody i poprawia stabilność wymiarową materiału [6]. Chai i wsp. [12] sugerują, że zwiększona ilość macierzy organicznej w stosunku do ilości wypełniacza może zwiększać sorpcję wody. Zawartość hydrofilnych związków organicznych może nadmiernie przyspieszać migrację wody i ułatwiać wnikanie jej cząsteczek w strukturę macierzy organicznej, co prowadzi do hydrolitycznej degradacji matrycy polimerowej i tym samym do pogorszenia właściwości mechanicznych materiałów. Według Wolffa i wsp. [13] materiały FRC, które charakteryzują się wysoką zawartością włókien wzmacniających macierz, pochłoną mniej wody w porównaniu z tymi tworzywami, w których ilość włókien nie przekroczy 50% objętości.

Większa chłonność wody obserwowana w badanym materiale Dentapreg PFM może być tłumaczona mniej skuteczną impregnacją włókien wzmacniających żywicę organiczną. Powstanie pustych przestrzeni, pęknięć i innych defektów w strukturze materiału ułatwia wnikanie wody, która niszczy połączenia w trójwymiarowej sieci polimerowej, działając na materiał destabilizująco [14]. Według Miettinen i wsp. [8] niespójne i niejednorodne połączenie polimerów w strukturze materiału z włóknami wzmacniającymi macierz skutkować może powstaniem wolnych pól w trójwymiarowym układzie przestrzennym. Zdjęcia wykonane z zastosowaniem elektronowej mikroskopii skaningowej SEM przez Behra i wsp. [15] potwierdziły, że uszkodzenia i wady fizyczne materiału, spowodowane przez cząsteczki wody, prowadzą do

pogorszenia właściwości mechanicznych. Badania Chai i wsp. [16] wykazały, że poprawę właściwości sorpcyjnych uzyskać można, wydłużając czas naświetlania materiału. Uzyskuje się wówczas wyższy stopień konwersji i lepszą gęstość usieciowania macierzy organicznej.

Dobre właściwości sorpcyjne materiału eksperymentalnego (mała chłonność wody), w którym włókno ułożone jest jednokierunkowo, w formie wzdłużnie zorientowanej wiązki, mogą świadczyć o dobrym sposobie przygotowania włókien polietylenowych w procesie oksydacji i skutecznym ich połączeniu z siecią dimetakrylanów. W materiale Dentapreg PFM wypełniaczem jest ułożone dwukierunkowo w postaci arkusza włókno szklane. Uzyskane dla tego materiału wysokie wartości sorpcyjne są potwierdzeniem obserwacji innych autorów, że połączenie utworzone przez włókno szklane i macierz organiczną w procesie silanizacji jest szczególnie wrażliwe na działanie wody. Cząsteczki wody atakują wiązania polisiloksanowe wytworzone podczas silanizacji powierzchni włókna, przyczyniając się do hydrolitycznej degradacji połączenia włókno-matryca organiczna [17].

Wszystkie badane materiały spełniły założenia normy PN EN ISO 10477 Stomatologia. Materiały na korony i mosty, w której przedstawiono, że absorpcja wody nie powinna przekroczyć 40 $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ [9].

Wnioski

Dentapreg PFM wykazuje największe właściwości absorpcyjne wody. Materiał Podwiązka wykazuje absorpcję i wzrost ciężaru tylko pomiędzy 1 a 2 pomiarem. Materiał eksperymentalny (UHMWPE) nie zwiększa istotnie swojego ciężaru w żadnym z przeprowadzonych pomiarów. Sorpcja wody wszystkich badanych materiałów spełnia założenia normy PN-EN ISO 10477.

Oświadczenia

Oświadczenie dotyczące konfliktu interesów

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów w autorstwie oraz publikacji pracy.

Źródła finansowania

Autorzy deklarują brak źródeł finansowania.

Piśmiennictwo

- [1] Sokołowski J, Szynkowska MI, Kleczewska J, Kowalski Z, Sobczak-Kupiec A, Pawlaczyk A, et al. Evaluation of resin composites modified with nanogold and nanosilver. *Acta Bioeng Biomech.* 2014;16(1):51–61.
- [2] Łukomska-Szymańska M, Kleczewska J, Nowak J, Pryliński M, Szczesio A, Podlewska M, et al. *Mechani-*

- cal Properties of Calcium Fluoride-Based Composite Materials. *BioMed Res Int*. 2016;2016:2752506.
- [3] Vallittu PK, Ruyter IE, Ekstrand K. Effect of water storage on the flexural properties of E-glass and silica fiber acrylic resin composite. *Int J Prosthodont*. 1998(4):340–350.
- [4] Behr M, Rosentritt M, Lang R, Handel G. Flexural properties of fiber reinforced composite using a vacuum/pressure or a manual adaptation manufacturing process. *J Dent*. 2000(7):509–514.
- [5] Lassila L, Nohrström T, Vallittu PK. The influence of short-term water storage on the flexural properties of unidirectional glass fiber-reinforced composites. *Biomaterials*. 2002;23(10):2221–2229.
- [6] Cal NE, Hersek N, Sahin E. Water sorption and dimensional changes of denture base polymer reinforced with glass fibers in continuous unidirectional and woven form. *Int J Prosthodont*. 2000;13(6):487–493.
- [7] Vallittu PK. Dimensional accuracy and stability of polymethyl methacrylate reinforced with metal wire or with continuous glass fiber. *J Prosthet Dent*. 1996;75(6):617–621.
- [8] Miettinen VM, Narva KK, Vallittu PK. Water sorption, solubility and effect of post-curing of glass fibre reinforced polymers. *Biomaterials*. 1999;20(13):1187–1194.
- [9] Polski Komitet Normalizacyjny: PN-EN ISO 10477 Stomatologia — Materiały polimerowe na korony i mosty. 2008.
- [10] Sakaguchi RL, Powers JM. *Craig's Restorative Dental Materials*. XIII. St. Louis, United States: Mosby; 2011; s. 416.
- [11] Vallittu PK. Effect of 180-week water storage on the flexural properties of E-glass and silica fiber acrylic resin composite. *Int J Prosthodont*. 2000;13(4):334–339.
- [12] Chai J, Takahashi Y, Hisama K, Shimizu H. Water Sorption and Dimensional Stability of Three Glass Fiber-Reinforced Composites. *Int J Prosthodont*. 2004;17(2):195–199.
- [13] Wolff D, Coupek M, Erber R, Krueger T, Krisam J, Stahle HJ, et al. Effect of Aqueous Storage on Original and Repair Bond Strength and Residual Monomer Release of Fiberreinforced Composites. *J Adhes Dent*. 2016;18(6):535–543.
- [14] Vallittu PK The effect of void space and polymerization time on transverse strength of acrylic-glass fibre composite. *J Oral Rehabil*. 1995;22(4):257–261.
- [15] Behr M, Rosentritt M, Latzel D, Kreisler T. Comparison of three types of fiber-reinforced composite molar crowns on their fracture resistance and marginal adaptation. *J Dent*. 2001;29(3):187–196.
- [16] Chai J, Takahashi Y, Kawaguchi M. The flexural strengths of denture base acrylic resins after relining with a visible-light-activated material. *Int J Prosthodont*. 1998;11(2):121–124.
- [17] Repovsky D, Jane E, Palszegi T, Slobodnik M, Velic D. Formation mechanism of a silane-PVA/PVAc complex film on a glass fiber surface. *Chemphyschem Eur J Chem Phys Phys Chem*. 2013;14(15):3569–3580.

Zaakceptowano do edycji: 2018-05-10
Zaakceptowano do publikacji: 2018-05-20

Adres do korespondencji:

Rafał Brożek
Klinika Gerostomatologii i Patologii Jamy Ustnej
Collegium Stomatologicum
ul. Bukowska 70, 60-812 Poznań
tel.: 61 854 70 78
e-mail: broz@ump.edu.pl