



ZESZYTY STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Zastosowanie systemu stomatologicznego CAD/CAM LAVA 3M do oceny przestrzennego rozkładu pocienienia sportowego ochroniacza szczęki

K. Birowski^a, J. Karkoszka^a, T. Tański^b, J. Żmudzki^c

^a Student/ka Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych,

e-mail: kamil.birowski@gmail.com; john.karkoszka@gmail.com

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie,

email: Tomasz.Tanski@polsl.pl;

^c Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Inżynierii Materiałów Biomedycznych

email: Jaroslaw.Zmudzki@polsl.pl

Streszczenie: Indywidualne sportowe ochroniacze szczęki w trakcie formowania na modelu tracą grubość, od której zależy ich skuteczność ochrony zębów przed uszkodzeniem. W pracy zastosowano inżynierię odwrotną modułu systemu stomatologicznego CAD/CAM (LAVA 3M) do oceny przestrzennego rozkładu zmian grubości (pocienienia) materiału ochroniacza szczęki. Materiałem, który posłużył do badań był kopolimer etylenowo-octanowinylowy (EVA) o grubości 3 mm formowany na indywidualnym gipsowym modelu w warunkach kontrolowanej temperatury i ciśnienia (DREVE Drufosmart Scan). Przestrzenny rozkład zmian grubości uzyskano techniką skanowania metodą światła strukturalnego (3M Lava SCAN ST 2) modelu gipsowego szczęki bez ochroniacza i z nałożonym ochroniaczem. W obszarach koron zębów siecznych oraz koron zębów przedtrzonowych i trzonowych grubość ochroniacza wynosiła odpowiednio 1,97 mm i 2,62 mm, a zatem pocienienie sięgało średnio od 12,7% do 34,3%.

Abstract: Custom mouthguards lost their thickness during model forming, what has an influence on its efficiency of protecting teeth from breakage. In the thesis the reverse engineering of dentistry system module (CAD/CAM (LAVA 3M)) was used. It was done for checking how spatial distribution of the thickness variation of mouthguards material had taken place. Researches were conducted with using 3mm thick EVA copolymer (Ethylene-vinyl acetate), it was formed in controlled temperature and pressure conditions (DREVE Drufosmart Scan) at individual gypsum model. The spatial distribution of the thickness variation was checked by scanning structural light method (3M Lava SCAN ST 2) of gypsum model with and without the mouthguard. Thickness of the mouthguard in the regions of the incisors crowns and the premolars and molars crowns was equal 1,97 mm and 2,62 mm, so percentage of the thinning ranged from 12,7 to 34,3 %.

Słowa kluczowe: Inżynieria odwrotna, CAD, CAM, ochraniacz zębowy, termoformowanie

WSTĘP

Inżynieria odwrotna z powodzeniem znalazła zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu i różnorodnych dziedzinach ludzkiego życia. Będąc w posiadaniu narzędzi do konwertowania informacji analogowej na informacje cyfrową w połączeniu z systemami CAD/CAM, inżynieria odwrotna stwarza szereg możliwych zastosowań również dla inżynierii stomatologicznej.

Urazy powstałe podczas uprawiania sportów osiągnęły status problemu społecznego, który dotyka zwłaszcza młodzież. Istotne z punktu widzenia pojedynczego zawodnika jest uniknięcie uszkodzeń tkanek jamy ustnej, których konsekwencje mają nie tylko wymiar zdrowotny, ale też finansowy. Uszkodzenie tkanek może nastąpić nie tylko w sportach walki, ale również w wyniku uderzenia w sportach drużynowych lub na skutek upadku. Wewnątrzustne ochraniacze mają za zadanie chronić tkanki tłumiąc siły na nieoddziałujące, stąd podstawowe znaczenie dla pochłaniania i rozproszenia energii uderzenia ma grubość zastosowanego materiału. Na rynku znaleźć można zarówno ochraniacze niespersonalizowane jak i indywidualnie dostosowywane do zębów (termoformowane). Ochraniacze indywidualne posiadają szereg zalet, jednak wskutek termoformowania zarówno bezpośrednio w ustach pacjenta jak i w warunkach laboratoryjnych na gipsowym modelu dochodzi do zmian grubości ochraniaczy (pocienienia) [1,3,4].

Tradycyjne metody pomiaru pocienień materiału o tak skomplikowanych kształtach, jakimi charakteryzują się indywidualne ochraniacze na zęby, są czasochłonne i wymagają przecięcia elementu. Możliwości szybkiej i stosunkowo łatwej oceny pocienień przedstawia inżynieria odwrotna, w której urządzenia skanujące, jak i programy typu CAD pozwalają na uzyskanie przestrzennego obrazu grubości bez naruszenia elementu.

Celem pracy było scharakteryzowanie technologii produkcji ochraniaczy zębów i zastosowanie systemu stomatologicznego CAD/CAM LAVA 3M do oceny przestrzennego rozkładu pocienienia materiału indywidualnie formowanego ochraniacza szczęki.

Ochraniacze sportowe wewnątrzustnych

Rosnąca popularność uprawiania sportów powoduje, że wzrasta ilość urazów, zwłaszcza w obrębie twarzy i zębów. Rośnie zatem również popularność ochraniaczy wewnątrzustnych. W konsekwencji na rynku istnieje bardzo wiele ich rodzajów. Można je jednak podzielić na trzy główne grupy:

- *Stock mouthguards* – ochraniacze gotowe do użycia (rys. 1A). Charakteryzują się najniższą ceną, odgórnie zdefiniowanymi rozmiarami (najczęściej S, M, L). Wadą tego typu ochraniacza jest brak dopasowania do kształtu zębów. Podczas stosowania ochraniaczy tego typu mogą się pojawić problemy z utrzymaniem ochraniacza w jednej pozycji, mówieniem, przełykaniem śliny czy oddychaniem.
- *Boil and bite* – ochraniacze formowane w jamie ustnej (rys. 1B). Stanowią one najpopularniejszy i najchętniej używany rodzaj ochraniaczy. Zasada ich personalizacji do układu jamy ustnej użytkownika opiera się na podgrzaniu ochraniacza w gorącej wodzie, a następnie zaciśnięciu go w jamie ustnej, formowaniu poprzez docisk palcami i odczekaniu aż materiał z powrotem stwardnieje. Pod wpływem temperatury materiał ochraniacza uplastycznia się i pozwala na łatwe formowanie. Ochraniacze tego typu charakteryzują się lepszym przyleganiem do zębów, lecz ze względu na brak kontroli

docisku następuje niestabilność wymiarów, co może skutkować znacznym zmniejszeniem ochrony przez urazami.

- *Custom mouthguards* – indywidualne ochraniacze wykonywane przez stomatologa (rys. 1C). Na podstawie pobranego wycisku tkanek jamy ustnej wykonuje się odlew gipsowy pacjenta, by następnie na jego podstawie wykonać ochraniacz w warunkach laboratoryjnych. Tego typu ochraniacze cechują się najlepszym przyleganiem do tkanek, większą swobodną oddychania i mówienia, a także pozwalają na dostosowanie ochraniacza do wad zgryzu oraz w momencie leczenia ortodontycznego [1,2,3,4].



Rys.1. Ochraniacze wewnątrzustne: A – stock mouthguards, B – boil and bite, C – custom mouthguards [1, 2, 3].

Zadanie ochraniaczy wewnątrzustnych

Urazy powstające w obrębie twarzoczaszki w wyniku uprawiania sportów, stanowią częste wyzwanie dla inżynierii stomatologicznej. Ryzyko takich urazów wywołane uprawianiem sportów indywidualnych lub drużynowych dotyczy wszystkich i w każdym wieku. Do najczęściej spotykanych obrażeń w obrębie twarzoczaszki można zaliczyć:

- zranienia tkanek miękkich,
- uszkodzenia zębów- częściowe lub całkowite,
- złamanie zębów, w tym także części korzeniowej.

Wielkość uszkodzeń zależy głównie od punktu przyłożenia siły, przedmiotu jakim uderzono oraz kierunku uderzenia. Do ochrony jamy ustnej stosuje się ochraniacze wewnątrzustne, który zostały opracowane przez angielskiego dentystę Woolf'a Krause w latach 90 XIX wieku. Pierwsze ochraniacze były dedykowane dla bokserów i wykonywano je z gutaperki w celu zapobiegania uszkodzeń warg podczas walki. Obecnie ochraniacze jamy ustnej zdobywają popularność wśród wielu dyscyplin, w których zachodzi ryzyko urazów twarzowo-szczękowych [3,5].

Jednym z najważniejszych wymagań jakie są stawiane ochraniaczom jest zdolność pochłaniania oraz rozpraszania energii powstałej w wyniku przyłożonej siły w obszarze twarzowo-szczękowej. Takie podejście powoduje, że wstrząsy powstałe w wyniku uderzenia są minimalizowane i w mniejszym stopniu wpływają na stan tkanek jamy ustnej, jak i tkanek głębokich np. mózgu [4,6]. Jako że ochraniacze wewnątrzustne stanowią wyrób medyczny oprócz zdolności do pochłaniania energii, powinny charakteryzować się dodatkowo m.in. biogodnością, brakiem negatywnego wpływu na organizm ludzki czy brakiem procesów biodegradacji i procesów korozji. Wraz z rozpowszechnieniem się stosowania ochraniaczy, pojawiają się coraz to nowe materiały, mające zaspokajać oczekiwania zarówno związane z komfortem użytkowania, jak i stawiać czoło wymaganiom mechanicznym. Obecnie jednym z popularniejszych materiałów stosowanych na ochraniacze tego typu jest etyleno-octan winylu (EVA). Należy jednak pamiętać, że wybór materiałów jak i jego grubość poprzedzony

powinien być przeprowadzeniem wielu badań pod kątem twardości oraz zdolności do absorpcji energii [8,9,1,12,13].

W tym celu materiały na ochraniacze poddawane są m.in. badaniom takim jak:

- badania twardości mierzone przy pomocy durometru Shore'a,
- badania opisujące pochłanianie energii – wykonywane przy pomocy kuli, bądź wahadła, które upuszczone z wysokości odbija się. Pomiar wysokości wychylenia ramienia, bądź odbicia kulki pozwala oszacować ilość energii pochłoniętej przez materiał. Za przykład może posłużyć metoda Schoba, gdzie wykonywane jest uderzenie badanej próbki obciążnikiem przymocowanym do wahadła w określonym położeniu i odczytywany jest stosunek wychylenia do wysokości spadku wahadła.

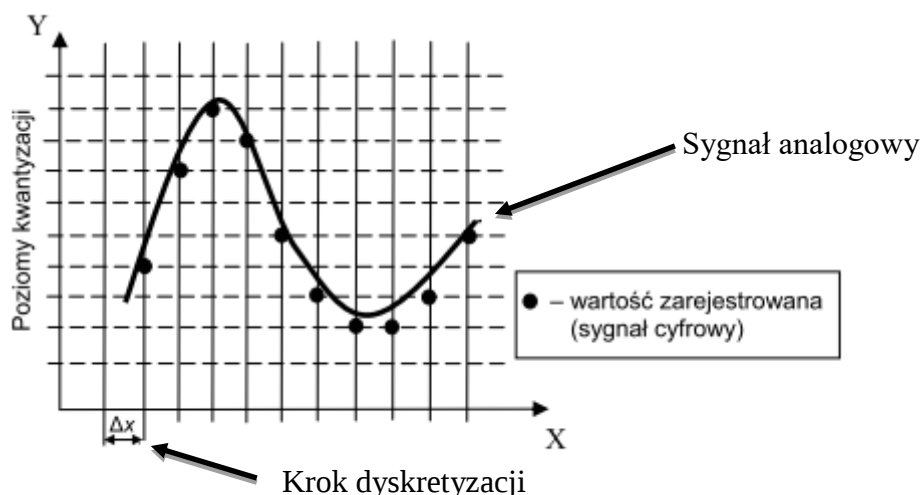
Oprócz wyboru odpowiedniego materiału, który dzięki swojej charakterystyce, będzie cechował się zdolnością do dużych odkształceń i zdolnością do pochłaniania energii, duży wpływ na prawidłową pracę ochraniaczy wewnętrznych ma grubość zastosowanego materiału [5,14,15]. Szereg badań mówiących o optymalnych z punktu widzenia pochłaniania energii grubościach ochraniaczy [11,14,15,16,17] wskazuje, że istotna jest znajomość rozkładu zmian tej grubości zachodzącej podczas termoformowania ochraniaczy indywidualnych.

Pocienienia w ochraniaczach indywidualnych występują w różnych miejscach i są różnej wielkości [7]. Zależne są nie tylko od metody ich wykonania i materiału, ale również w dużej mierze od indywidualnych cech osobniczych i wysokości elementu na którym są formowane.

Charakterystyka inżynierii odwrotnej

Inżynieria odwrotna (z ang. *Reverse Engineering*) zwana również inżynierią rekonstrukcyjną, zajmuje się jak najwierniejszym uzyskaniem modelu geometrycznego CAD z chmury punktów elementu, który został poddany dyskretyzacji [18].

Dyskretyzacja jest procesem odwzorowania powierzchni fizycznego przedmiotu za pomocą różnych technik i opiera się na konwersji informacji analogowej (fizyczny przedmiot) na informacje cyfrową (wirtualny model w komputerze) (rys. 2) [19].



Rys.2. Schemat przetwarzania sygnału analogowego na cyfrowy [21].

Do nadrzędnych celów inżynierii rekonstrukcyjnej zalicza się przede wszystkim identyfikacja dowolnej powierzchni przy pomocy dostępnych technologii na rynku. Przystępując do pracy, w początkowej fazie należy skupić na zebraniu jak największej ilości informacji na temat badanego modelu. W pozostałych etapach model poddawany jest skanowaniu, a w kolejnych obróbce i modyfikacji [19]. Przygotowanie modelu zgodnie z inżynierią odwrotną składa się z kilku podstawowych kroków (rys. 3).



Rys.3. Schemat procesu produkcji przy użyciu technologii inżynierii odwrotnej.

Metody dyskretyzacji elementów

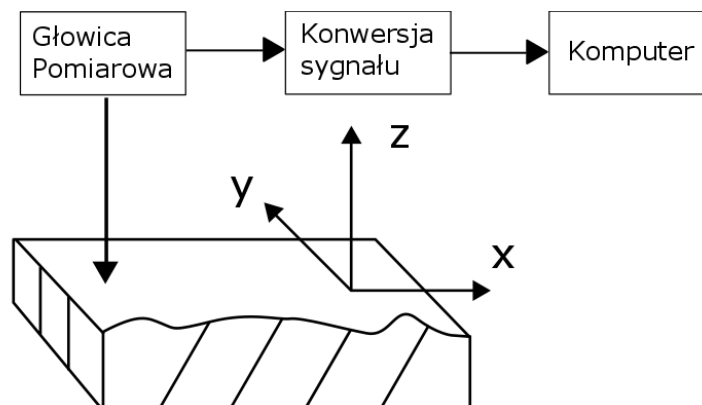
Podstawą inżynierii odwrotnej jest pozyskanie informacji o elemencie w formie cyfrowej. Na rynku dostępne jest wiele różnych form dyskretyzacji fizycznych elementów do postaci komputerowej. Metody te można ogólnie podzielić na stykowe, czyli po badanym materiale przesuwana jest sonda rejestrująca powierzchnie oraz bezstykowe, gdzie podstawą pozyskania danych są fale elektromagnetyczne, metody optyczne, bądź akustyczne [18, 20].

Metody stykowe

Bazą tej gałęzi metod jest wykorzystanie głowicy skanującej lub innego medium pozyskania informacji (rys. 4). Zaletami tej grupy jest bardzo dobra jakość odwzorowania powierzchni, natomiast wadą jest dosyć długi czas skanowania wynikający z techniki pobierania informacji, nieefektywne wykorzystanie w przypadku dużych powierzchni [18, 21].

Metody bezstykowe

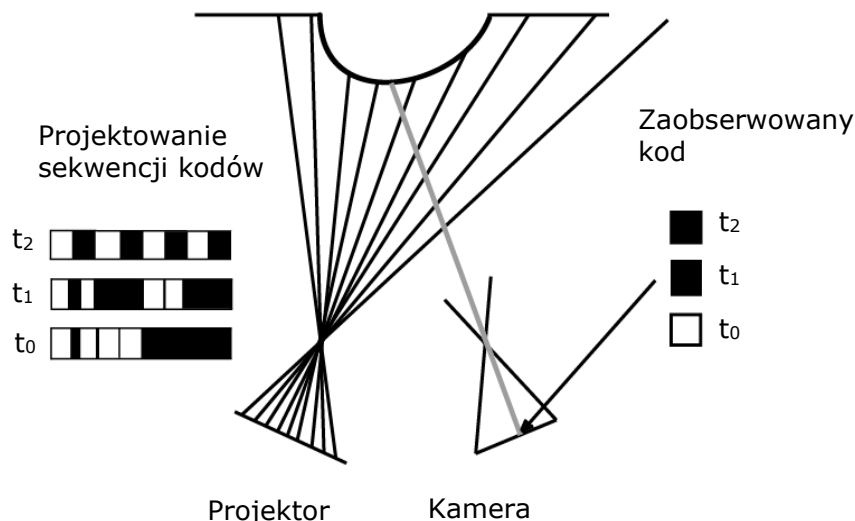
Metody bezstykowe opierają się na zjawisku odbicia światła od powierzchni skanowanego modelu lub na zjawisku i detekcji rozproszonego światła. Ponadto sam proces dyskretyzacji zachodzi dużo szybciej niż w przypadku metody stykowej. Pomimo mocnego rozwinięcia tej gałęzi detekcji kształtu w ostatnich latach, metody bezstykowe dalej charakteryzują się gorszą jakością odwzorowania niż metody stykowe. Dodatkowo, modele będące transparentne lub odbijające światło należy zmatowić używając do tego specjalnych środków, co nastręcza dodatkowej pracy i kosztów [18, 21, 22].



Rys.4. Schemat działania urządzenia opartego o metodę stykową [22]

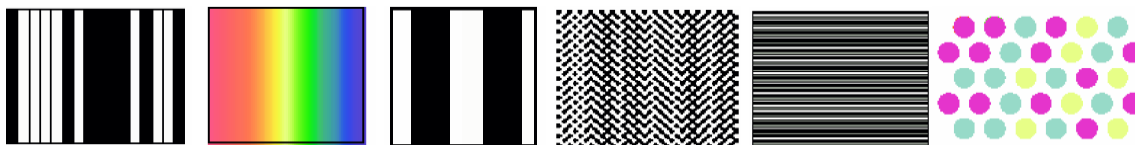
Metoda ze światłem strukturalnym

Metody pomiarowe wykorzystujące światło strukturalne cechują się skanowaniem obszaru w zasięgu pola widzenia. Główną cechą tej metody jest szybka akwizycja obrazu wraz z jego przetwarzaniem na postać cyfrową [21].



Rys.5. Schemat działania skanera 3D opartego o metodę bezstykową [21].

Podstawą działania tej metody jest wyświetlanie przez urządzenie wiele różnych struktur światła różniących się gęstością, ilością i położeniem linii. Linie proste ulegają zniekształceniu odpowiednio do kształtu mierzonego obiektu, a następnie przy użyciu szybkich kamer, sczytane są deformacje obrazu. Powstałe błędy zostają przeanalizowane, a następnie przy wykorzystaniu różnych technik kodowania obrazu (rys. 5) są zamieniane na postać cyfrową. Najczęściej spotykanymi technikami jest ekspozycja obrazów prążkowych przesuniętych w fazie oraz kody Graya (rys. 6) [21].



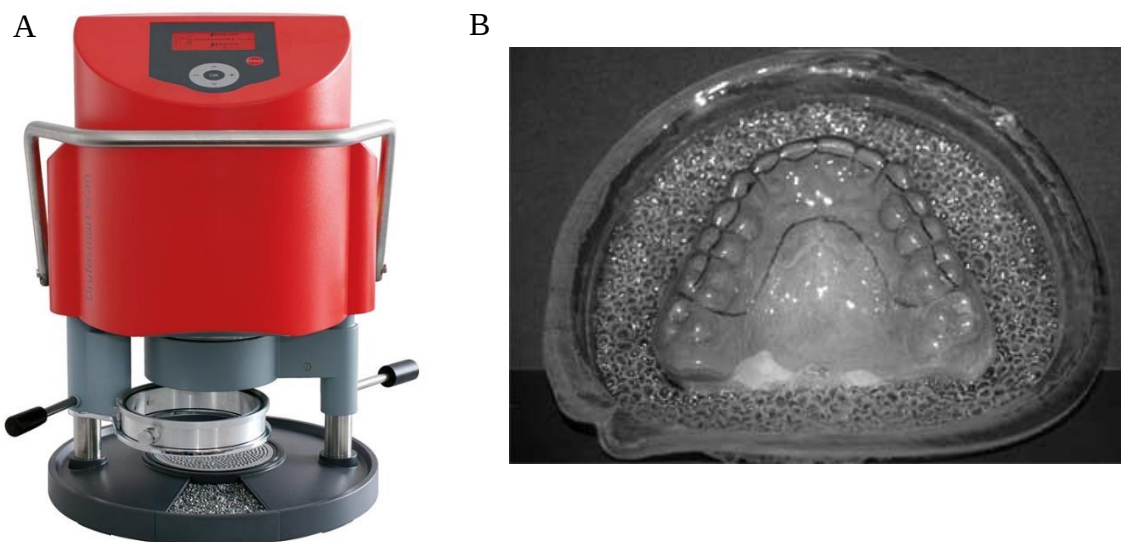
Rys. 6. Schemat przedstawiający różne techniki kodowania obrazu[22].

MATERIAŁ I METODA BADAŃ

Proces termoformowania na modelu gipsowym

Technika termoformowania jest jedną z podstawowych metod wykonywania indywidualnych ochraniaczy wewnątrzustnych. Termoformowanie wykonano na urządzeniu DREVE DrufoSMART Scan (rys. 7A). Proces rozpoczyna się od pobrania od pacjenta wycisku jamy ustnej i wykonania odlewu gipsowego. W kolejnym kroku model zostaje ustawiony na platformie roboczej urządzenia lub obsypany granulatami, mającymi zapobiegać pocienieniu

materiału, a w pierścieniu ponad modelem zostaje zamontowana folia termoplastyczna. Grzanie za pośrednictwem promieniowania podczerwonego doprowadza folię do temperatury uplastycznienia, która w tym momencie zostaje opuszczona i naciągnięta na model gipsowy. Dodatkowe działanie próżni powoduje lepsze przyleganie i odwzorowanie kształtu. Urządzenie pozostaje w pozycji zamkniętej do momentu wystygnięcia wypraski, co ma za zadanie zapobiegać deformacji od skurczu. Tak wykonaną wypraskę (rys. 7B) na samym końcu poddaje się obróbce wykańczającej [23, 29].



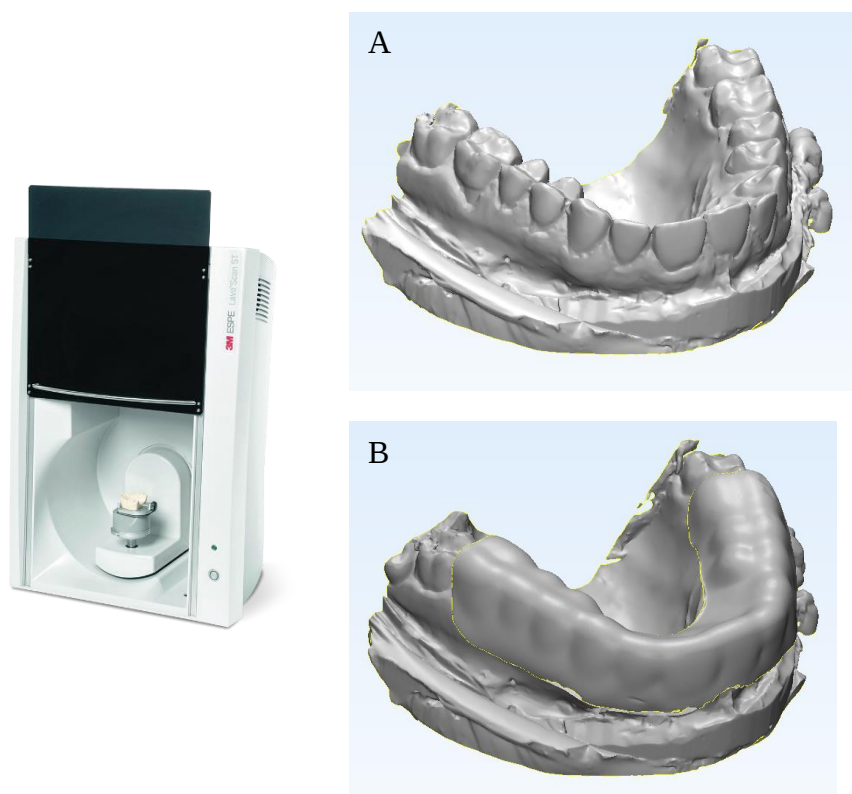
Rys. 7. A – urządzenie do termoformowania DREVE Drufosmart Scan [5], B – wypraska wykonana techniką termoformowania próżniowego [4].

Skanowanie i ocena grubości

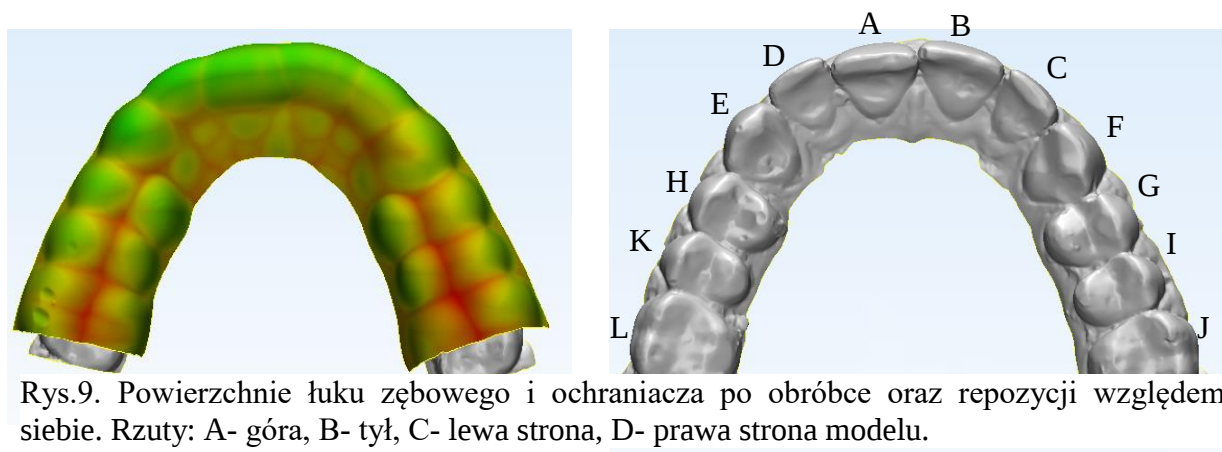
Ochraniacz został wykonany technologią termoformowania próżniowego. Jako materiał na ochraniacz posłużyła płytka polimerowa DrufoSoft firmy Dreve. Płytkę była bezbarwna, transparentna, o grubości 3 mm.

Ochraniacz zębów szczęki poddano badaniu metodą skanowania 3D opartą o światło strukturalne. Ochraniacz został pokryty cienką warstwą tlenku tytanu w celu zmatowienia powierzchni, w przeciwnym wypadku promienie skanera padające na element zostają rozproszone. Pokryty warstwą tlenku tytanu ochraniacz został nałożony na model gipsowy łuku zębowego, który wcześniej stanowił model wyjściowy dla uzyskania ochraniacza. Model został umieszczony w komorze skanera 3M Lava SCAN ST 2 (rys. 8).

W następnych krokach przy użyciu programu DentalWings, maszyna została skalibrowana i przygotowana do pracy.



Rys. 8. Uzyskane modele przy pomocy urządzenia 3M Lava ScanST: A- model łuku zębowego, B- model ochroniacza nałożonego na łuk zębowy.



Rys.9. Powierzchnie łuku zębowego i ochroniacza po obróbce oraz repozycji względem siebie. Rzuty: A- góra, B- tył, C- lewa strona, D- prawa strona modelu.

W Kolejnych etapach było uzyskanie dwóch modeli w formacie STL: łuk zębowy wraz z ochroniaczem (rys. 8B), a drugi tylko modelu łuku zębowego (rys. 8A). Uzyskane modele importowano do programu SolidWorks, gdzie przy użyciu modułu ScanTo3D usunięto z modeli niepotrzebne informacje oraz poprawiono błędy w siatce.

Nałożone na siebie modele, wyeksportowano następnie do programu Mimics firmy Materialise (rys. 9), gdzie przy użyciu dostępnym opcji pomiarowych zmierzono odległość

między siatkami (rys. 10A). Punkty pomiarowe zostały wyznaczone na każdym zębie i naniesione na rysunku nr 10B. Pomiar został przeprowadzony na szczycie korony każdego zęba trzykrotnie. Wyniki z punktów pomiarowych zostały opisane w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki pomiaru grubości ochraniacza w poszczególnych punktach pomiarowych.

Typ uzębienia	Siekacze				Kły		Przedtrzonowce				Trzonowce	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	J	L
	1,80	1,93	2,33	1,57	1,63	2,44	2,10	2,61	2,77	2,24	2,74	2,64
	2,00	2,03	2,41	1,80	1,98	2,43	2,11	2,63	2,98	2,37	2,98	2,80
	1,92	1,97	2,23	1,67	1,89	2,68	2,28	2,81	2,71	2,24	2,71	2,70
Wartości średnie	1,91	1,97	2,32	1,68	1,83	2,51	2,16	2,68	2,82	2,28	2,81	2,71
	1,97				2,17		2,48				2,76	

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań pomiaru grubości materiału w zależności od typu zęba były zróżnicowane, nawet w obrębie tego samego rodzaju uzębienia. Badania wskazują, że największe pocienienie materiału występuje głównie w odcinku przednim. Największe pocienienia zanotowane zostały w obszarze wokół drugiego zęba siecznego z prawej strony i wynosiły 1,32 mm co daje spadek grubości o 44 %. Pozostałe wyniki pomiaru grubości dla tylnych obszarów były podobne do siebie i wahały się od 2,16 mm do 2,82 mm grubości.

DYSKUSJA

Technikę termoformowania wykorzystuje się głównie przy produkcji ochraniaczy jednowarstwowych. Podstawowym materiałem wykorzystywanym przy wykonawstwie ochraniaczy jest EVA, czyli kopolimer etylenu i octanu winylu [24]. Ze względu na kontrolę temperatury nagrzewania oraz ciśnienia w procesie produkcji, ochraniacze próżniowo formowane są lepiej dopasowane do zębów niż ochraniacze formowane w ustach.

Jednak, z pracy G. Del Rossi [25] wynika, że w raz ze wzrostem wysokości modelu uzębienia wzrasta pocienienie materiału, szczególnie na zębach przednich tj. kłach i siekaczach. Waha się ono od 50% dla modeli o wysokości 20 mm do 70% dla modeli o wysokości 30 mm. W przypadku zębów trzonowych pocienienie materiału jest stałe dla wszystkich badanych modeli i wynosi ok. 50% grubości początkowej materiału tj. 1,6 mm. Innymi przyczynami pocienienia materiału w odcinku przednim łuku zębowego jest m. in. zastosowany materiał, temperatury uplastycznienia czy długość łuku zębowego [25]. Metodę oceny grubości można zastosować również do badań zużycia elementów, w tym również ochraniaczy. W pracy [26] stwierdza się, że ochraniacze w wyniku zużycia w ciągu sezonu footballu amerykańskiego (12 tygodni) utraciły na grubości ok. 50% w części żującej, a w części przedniej ok. 25%.

Zwraca uwagę, że największe pocienienie technologiczne przypada na odcinek siekaczy, które są najbardziej narażone na ryzyko uszkodzenia. Skuteczność ochrony zębów przed uszkodzeniem pozostaje wciąż aktualnym polem do badań. Znaczący postęp w tym względzie wnoszą badania symulacyjne wpływu ochraniaczy na obciążenia przenoszone przez zęby i kości narządu żucia nastolatków, zrealizowane w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych w ramach projektów studenckich [27, 28].

WNIOSKI

Metoda pomiaru grubości opartej na inżynierii odwrotnej pozwala w szybki i prosty sposób dokonać oceny pocieniania ochraniaczy sportowych, a także przestrzennego rozkładu wymiarów elementu w sposób nieosiągalny metodami konwencjonalnymi.

Przedstawiona metodyka pomiaru przestrzennego rozkładu grubości (pocienienia) może również znaleźć zastosowanie do oceny poprawności wykonania m.in. szyn zgryzowych, aparatów retencyjnych, szyn repozycyjnych i innych szyn termoformowanych, a także zużycia i deformacji elementów.

Podziękowania

Szczególne podziękowania składamy Wydziałowi Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej za udzielenie oprogramowania Mimics (Materialise) oraz dr inż. Wojciechowi Wolańskiemu z Katedry Biomechatroniki za wszelką pomoc w obsłudze Mimics.

BIBLIOGRAFIA

1. Gawlak D., Ocena użytkowania wewnątrzustnych ochraniaczy u młodzieży uprawiającej różne dyscypliny sportowe – wstępne badania kliniczne, *Czasopismo Stomatologiczne* 2009, 62, 2, 141 – 148.
2. Mańka-Malara K., Gawlak D., Łuniewska J., Kostrzewa-Janicka J., Wykonawstwo kliniczne i laboratoryjne ochraniacza indywidualnego u pacjenta użytkującego stały aparat ortodontyczny – opis przypadku, *Protet. Stomatol.*, 2014, LXIV, 5, 347-353.
3. Gawlak D., Mańka-Malara K., Kamiński T., Ocena użytkowania indywidualnych ochraniaczy jamy ustnej wykonanych techniką wtryskową – badania wstępne, *Dent. Med. Probl.* 2014, 51,2, 218-224.
4. Leffler W., Zastosowanie tworzyw polimerowych w zakresie ochrony jamy ustnej podczas uprawiania sportu, *PT*, nr 3 (159), 2014, 247-252.
5. Gawlak D., Mańka K., Ocena wytrzymałości ochraniaczy jamy ustnej – przegląd piśmiennictwa, *Protet. Stomatol.*, 2011, LXI, 6, 490-465.
6. McCrory P., *Do mouthguards prevent concussion?*, *British Journal of Sports Medicine* 2001, 35, 81 –82.
7. Newsome P., Tran D., Cooke M.: The role of mouthguard in the prevention of sports-related dental injuries: a review. *Int. J. Paediatr. Dent.* 2001, 11, 396-404
8. Knapik J. J., Marshall S. W., Lee R. B., Darakjy S. S., Jones S. B., Mitchener T. A., Dela Cruz G. G., Jones B. H.: Mouthguards in Sport Activities. History, Physical Properties and Injury Prevention Effectiveness. *Sports. Med.*, 2007, 37,(2),177-184.
9. Craig R. G., Godwin W. C.: Properties of athletic mouth protectors and materials. *J. Oral Rehab.*, 2002, 29, 146 – 150.
10. Going R. E., Loehman R. E., Chan M. S.: Mouthguard materials: their physical and mechanical properties. *J. Am. Dent. Assoc.*, 1974, 89,(1),132-138.
11. Westerman B., Stringfellow P. M., Eccleston J. A.: EVA mouthguards: how thick should they be? *Dent. Traumatol.*, 2002, 18,(1), 24-27.
12. Auoy P., Duchatelard P., Zmantar N. E., Hannequin M.: Hardness and shock absorption of silicone rubber for mouth guards. *J. Prosthet. Dent.*, 1996,75 (4), 463-471.
13. Wilkinson E., Powers J.: Properties of custom made mouth – protector materials. *Phys. Sportsmed.*, 1986, 14, 77-84.

14. *Park J., Shaull K., Overton B., i wsp.:* Improving mouthguards. *J. Prosthet. Dent.*, 1994, 72, 373-380.
15. *Bulsara Y., Matthew I.:* Forces transmitted through a laminated mouthguard material with a sorbothane insert. *Endod. Dent. Traumatol.*, 1998, 14, 45-47.
16. *Westerman B., Stringfellow P., Eccleston J.:* An improved mouthguard material. *Aust. Dent. J.*, 1997, 42, 189-191.
17. *Westerman B., Stringfellow P., Eccleston J.:* Beneficial effects of air inclusion on the performance of ethylene vinyl acetate (EVA) mouthguard material. *Br. J. Sports Med.*, 2002, 36, 51-53.
18. *K. Karbowski:* Podstawy Rekonstrukcji Elementów Maszyn i Innych Obiektów w Procesach Wytwarzania, Politechnika Krakowska, monografia 367, Kraków 2008.
19. *J. Jakubowski, J. Mutwil:* Projektowanie odwrotne jako narzędzie podwyższające jakość i konkurencyjność wyrobów, *Archiwum odlewnictwa* rok 2006, rocznik 6, nr 21(2/2).
20. *M. Wyleżół:* Inżynieria Odwrotna w doskonaleniu konstrukcji, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice 2006
21. *M. Szelewski, M. Wieczorowski:* Inżynieria Odwrotna i metody dyskretyzacji obiektów fizycznych, DOI:10.17814/mechanik.2015.12.584
22. *M. Kupiec:* Optyczno-stykowa metoda pomiarów współrzędnościowych, Politechnika Krakowska, Kraków 2007
23. *Del Rossi G., Leyte-Vidal M.:* Fabricating a better mouthguard. Part I: Factors influencing mouthguard thinning. *Dent. Traumatol.* 2007, 23, 149–154.
24. *D. Gawlak, K. Mańka-Malara, T. Kamiński:* Ocena użytkowania indywidualnych ochraniaczy jamy ustnej wykonanych techniką wtryskową – badania wstępne, *Dental and Medical Problems* - Numer: 2014, 51, 2
25. *Del Rossi G., Lisman P.:* A preliminary report of structural changes to mouthguard during one season. *J. Athl. Train.* 2007, 42, 47–50.
26. *Choy MH.* A comparison of custom-made mouthguards: *Hawaii Dent J* 1998;3:28.
27. *Panek K., Żmudzki J., Chladek G., Krawczyk C.:* Badania symulacyjne stanów naprężeń towarzyszących złamaniom żuchwy podczas wypadków, *XV Konferencja Biomateriały i Mechanika w Stomatologii Ustroń* 2015, str. 60
28. *Pokój M., Panek K., Bronkowski M., Kusibab M., Żmudzki J., Chladek G., Krawczyk C.:* Wpływ ochraniacza zębowego na stan naprężeń podczas przenoszenia siły uderzenia w żuchwę nastolatka. *XV Konferencja Biomateriały i Mechanika w Stomatologii Ustroń* 2015, str. 65
29. *Del Rossi G., Lisman P., Signorile J.:* Fabricating a better mouthguard. Part II: The effect of color on adaptation and fit. *Dent. Traumatol.* 2008, 24, 197–200.