

Uniwersytet Jagielloński
Collegium Medicum
Wydział Lekarski

Krzysztof Gończowski

Wypełnienia kompozytowe z zastosowaniem insertów

Ocena kliniczna i laboratoryjna

Praca doktorska

Promotor: Dr hab. med. Jan Zapala

Pracę wykonano w Instytucie Stomatologii Collegium Medicum UJ
Kierownik Instytutu: Prof. dr hab. med. Stanisław Majewski

Kraków 2005

Spis treści

1. Wstęp	3
2. Założenia i cele pracy	9
3. Materiał i metody	10
3.1 Badania kliniczne.....	10
3.2 Badania laboratoryjne.....	14
3.2.1 Analiza wytrzymałościowa.....	14
3.2.2 Symulacje numeryczne Metodą Elementów Skończonych (MES).....	17
4. Wyniki	22
4.1 Wyniki badań klinicznych.....	22
4.2 Wyniki badań laboratoryjnych.....	32
4.2.1 Wyniki analizy wytrzymałościowej.....	32
4.2.2 Wyniki symulacji numerycznych Metodą Elementów Skończonych (MES).....	35
5. Dyskusja	38
6. Wnioski	49
7. Streszczenie	50
8. Summary	53
9. Piśmiennictwo	56
10. Dokumentacja	65
10.1 Tabele.....	65
10.2 Ryciny.....	88

1. Wstęp

Materiały kompozytowe oraz adhezyjna technika łączenia z tkankami zęba są obecnie podstawą nowoczesnej stomatologii zachowawczej. Kliniczne zastosowanie materiałów złożonych wzrastało systematycznie w ciągu ostatnich 10 lat. Przyczyną tego zjawiska są: ciągle ulepszanie składu kompozytów, uproszczenie techniki aplikacji systemów łączących, rosnące oczekiwania pacjentów w stosunku do estetyki wypełnień oraz zmniejszanie ilości wykonywanych wypełnień amalgamatowych ze względu na nieuzasadnione obawy pacjentów dotyczące szkodliwości rtęci oraz regulacje prawne sankcjonujące te przekonania [1, 2].

Materiały złożone charakteryzują się wieloma zaletami – między innymi: bogatą kolorystyką, przeziernością, ścieralnością zbliżoną do naturalnych tkanek zęba, niewielką rozszerzalnością termiczną, odpowiednią twardością i sprężystością. Dzięki nowoczesnym systemom łączącym wykazują wysoką adhezję do szkliwa i zębiny [3-5].

Pomimo znacznego postępu jaki dokonał się w technologii kompozytowej, skurcz polimeryzacyjny pozostał wyzwaniem dla stomatologów i nadal jest odpowiedzialny za ograniczenia dotyczące bezpośredniej metody wykonywania wypełnień adhezyjnych (zwłaszcza w odcinku bocznym) [6, 7]. Naprężenia powstające podczas polimeryzacji materiału złożonego mogą powodować mikro-uszkodzenia w warstwie hybrydowej (obszar pomiędzy hydrofobowym wypełnieniem a hydrofilną zębiną) [8, 9]. Zostało dowiedzione, że to niekorzystne zjawisko ma znacznie większy wpływ na późniejszą jakość wypełnienia niż sama wartość siły wiązania systemu łączącego a także zjawiska reologiczne występujące podczas utwardzania kompozytu – tzw. płynięcie kompozytu oraz wartość punktu żelowania [1, 10].

Powstanie szczeliny pomiędzy ścianą ubytku a materiałem wypełniającym prowadzi do mikroprzecieku brzeżnego. Zjawisko to występuje w momencie, kiedy siły skurczu polimeryzacyjnego przewyższają siły adhezji systemu łączącego do tkanek zęba lub do materiału wypełniającego oraz są wyższe od plastyczności i elastyczności kompozytu [11]. Mikroprzeciek brzeżny został po raz pierwszy zdefiniowany przez Kidda w 1976 roku [12]. Polega on na niewykrywalnej klinicznie penetracji bakterii, produktów ich metabolizmu, toksyn, enzymów, jonów oraz innych czynników kariogennych w głąb między wypełnienie a ścianę ubytku. Z upływem czasu może dojść do rozwoju zapalenia miazgi, a w dalszej konsekwencji do obumarcia miazgi zęba [1, 13].

Według Suliborskiego i Sokołowskiego skurcz polimeryzacyjny ma destrukcyjny wpływ nie tylko na warstwę hybrydową (uszkodzenia typu adhezyjnego), ale także może powodować pęknięcia typu kohezyjnego w obrębie tkanek zęba lub kompozytu [14, 15]. Dauvillier i wsp. oraz Sakaguchi i wsp. analizując naprężenia powstające w kompozycie podczas polimeryzacji zwrócili uwagę na potencjalne niebezpieczeństwo generowania znacznych sił w tkankach zęba na skutek skurczu polimeryzacyjnego w sytuacji, kiedy system łączący wytrzymał działanie sił rozrywających [10, 16]. Nawet w przypadku stosowania systemów łączących o wysokiej wytrzymałości mechanicznej obecnie nie da się uniknąć generowania naprężeń w obrębie tkanek zęba. Kiedy ich wartość przekroczy wytrzymałość szkliwa i zębiny, powstaną pęknięcia kohezyjne - równie niebezpieczne i niekorzystne dla jakości oraz trwałości wypełnienia [17, 18]. Konsekwencją nieszczelności brzeżnej są: nadwrażliwość pozabiegowa, nieprawidłowa adaptacja wypełnienia do tkanek zęba, przebarwienia, pęknięcia oraz próchnica wtórna wokół wypełnienia [19-23].

Mikroprzeciek brzeżny został uznany za główny czynnik etiologiczny zapaleń

miazgi występujących po wypełnieniu zęba materiałami złożonymi. Według Armstronaga i wsp. brak szczelności brzeżnej odpowiada za penetrację bakterii pod wypełnienie, co jest przyczyną powikłań klinicznych [24]. Rocznie wymienianych jest od 0,3% do 6,5% wypełnień kompozytowych, a średni czas utrzymania takiego wypełnienia wynosi około 5 lat [25, 26]. W opinii Coxa istnieją ścisłe powiązania między występowaniem kariogennej flory bakteryjnej w obrębie szczeliny brzeżnej, a stanem zapalnym miazgi zęba [27]. Wyniki badań Coxa podważyły wcześniejszą tezę o znaczeniu działania toksyczno-chemicznego materiałów złożonych [28]. Odkrycie związków między penetracją bakterii pod wypełnienie a podrażnieniem miazgi spowodowało zwrócenie większej uwagi na konieczność eliminacji mikroprzecieku brzeżnego [29, 30].

Od czasu wprowadzenia żywic metakrylanowych wraz z systemami łączącymi oraz odpowiednich technik klinicznych wykonywania takich wypełnień (lata 60-te XX wieku), opracowano wiele metod ograniczenia niekorzystnego zjawiska jakim jest skurcz polimeryzacyjny [31, 32]. Metody te, w odniesieniu do wypełnień bezpośrednich można podzielić na dwie grupy: niezależne od lekarza wykonującego wypełnienie oraz takie, których zastosowanie leży bezpośrednio w gestii lekarza. Do pierwszej grupy należą: 1) zmiana składu chemicznego kompozytów oraz systemów łączących [33]; 2) modyfikacja już istniejących oraz wprowadzanie nowych urządzeń do polimeryzacji materiałów złożonych [34]. Techniki zależne od lekarza to: 1) odpowiednie opracowanie brzegów ubytku, polegające na wygładzeniu poszarpanych brzegów szkliwa wiertłem diamentowym o drobnym nasypie, pod kątem około 80°, w celu zmniejszenia łącznej długości obwodu wypełnienia [14, 35]; 2) aktywacja szkliwa oraz zębiny poprzez odpowiednią aplikację systemów łączących [15, 36 - 38]; 3) warstwowe zakładanie oraz polimeryzowanie materiału (grubość pojedynczej warstwy nie większa

niż 2 mm) [10, 19, 39, 40]; 4) zmiana niekorzystnego współczynnika naprężeń podczas polimeryzacji (współczynnik $C = \text{ilość ścian z systemem łączącym} / \text{ilość ścian bez systemu łączącego}$) poprzez nadanie kolejnym warstwom kształtu trójkąta na przekroju poprzecznym [14, 23, 41]; 5) zastosowanie tzw. miękkiego startu polimeryzacji, czyli obniżenie natężenia światła lampy polimeryzacyjnej w początkowym okresie utwardzania [17, 36, 42]; 6) wykonanie podkładu z materiału adhezyjnego o wysokim współczynniku elastyczności, np. z cementu szkło-jonomerowego klasycznego lub modyfikowanego żywicą, a także z kompozytu płynnego [34, 38, 43, 44]; 7) wykorzystanie istniejących na rynku systemów insertów szklano-ceramicznych lub zastosowanie insertów kompozytowych [45 - 47].

Podczas dostosowywania do zgryzu oraz polerowania wypełnień z materiałów złożonych dochodzi do wzrostu temperatury - zarówno w obrębie samego kompozytu, jak i otaczających tkanek zęba. Według badań Brisena i wsp. wzrost temperatury zęba o $5,6^{\circ}\text{C}$ powoduje nieodwracalne termiczne uszkodzenie miazgi [48]. Poza podrażnieniem lub nawet urazem termicznym miazgi, niekontrolowany wzrost temperatury powoduje zmiany w żywicy kompozytowej, bezpośrednio wpływając na obniżenie jakości i trwałości wypełnienia przez zwiększenie mikroprzecieku brzeżnego [36].

Po utwardzeniu oraz wypolerowaniu wypełnienia kompozytowego można także zastosować technikę zabezpieczającą przed wnikaniem bakterii oraz toksyn do już powstałych szczelin, przez wykonanie tzw. *rebondingu* [49 - 51]. Metoda ta polega na pokryciu powierzchni wypełnienia specjalną żywicą światłoutwardzalną o niskim napięciu powierzchniowym oraz małej ilości cząstek wypełniacza. Dzięki tym cechom żywice te mają zdolność wnikania na zasadzie sił kapilarnych do wnętrza szczelin oraz pęknięć, gdzie następuje utwardzenie i mechaniczne zablokowanie dostępu dla

mikroorganizmów z jamy ustnej.

Poza wyżej wymienionymi metodami ograniczania skurczu polimeryzacyjnego, a w konsekwencji mikroprzecieku brzeźnego, przez wiele lat próbowano opracować jeszcze skuteczniejszą technikę zapobiegania tym niekorzystnym zjawiskom.

Metoda stosowania insertów w stomatologii jest bardzo stara, gdyż sięga VI wieku naszej ery, kiedy to wykorzystywano tę technikę w celach zdobniczych np. w górnych zębach siecznych. Na początku XIX stulecia metoda insertowa stała się już procedurą leczniczą. Stosowano inserty wykonane z porcelany lub kości słoniowej jako wypełnienia ubytków próchnicowych [45]. Gwałtowny rozwój tej metody wypełniania ubytków nastąpił w chwili opanowania technologii wykonywania precyzyjnych odlewów z metali szlachetnych, co umożliwiło zastosowanie złota do produkcji wkładów oraz nakładów. Ponownego „odkrycia” metody insertowej w czasach nowożytnych dokonał Bowen w latach 80-tych XX wieku. W roku 1987 został opublikowany pierwszy raport dotyczący wykorzystania prefabrykowanych insertów szklano-ceramicznych jako tzw. megawypełniacza w materiałach kompozytowych [45]. Rok później inserty te zostały zastrzeżone patentem. W 1991 roku po raz pierwszy dopuszczono do powszechnego zastosowania klinicznego gotowe, prefabrykowane inserty szklano-ceramiczne [52, 53]. Dzięki tej modyfikacji uzyskano ograniczenie skurczu polimeryzacyjnego od 50% do 75% pierwotnej wartości [54]. Z techniką insertową wiązało się jednak wiele problemów, między innymi poddawano w wątpliwość jakość połączenia między insertami a kompozytem oraz estetykę takich wypełnień [46].

W 1998 roku w Zakładzie Propedeutyki Stomatologii Zachowawczej CMUJ

podjęto badania nad wykorzystaniem insertów kompozytowych a nie, jak pierwotnie zalecano, szklano-ceramicznych [55]. Początkowo badano inserty wykonane w postaci pojedynczego makrobloku, lecz wyniki prac laboratoryjnych wskazywały na nieskuteczność tej metody [56]. Dopiero zastosowanie w 1999 roku insertów w formie wcześniej spolimeryzowanych granulek o średnicy 0,5-0,7 mm, wykonywanych z tego samego materiału co wypełnienie i nakładanych warstwowo w maksymalnej ilości, umożliwiło osiągnięcie lepszych wyników niż przy metodzie konwencjonalnej [57 - 60]. Zastosowanie tej metody ogranicza całkowitą objętość kompozytu poddawanego procesowi utwardzania, co w konsekwencji zapewnia mniejszy skurcz polimeryzacyjny i mniejszy mikroprzeciek brzeżny.

2. Założenia i cele pracy

W pracy założono, że wykonanie wypełnień z materiałów złożonych w zębach bocznych (klasa I oraz II wg Blacka) z zastosowaniem insertów kompozytowych pozwoli na redukcję skurczu polimeryzacyjnego, a w konsekwencji mikroprzecieku brzeżnego, co będzie miało decydujący wpływ na jakość oraz trwałość wypełnień.

Celem pracy jest ocena – w warunkach klinicznych oraz laboratoryjnych – jakości wypełnień z materiałów złożonych wykonanych metodą konwencjonalną oraz insertową i uzyskanie odpowiedzi na następujące pytania:

1. Jaki jest wpływ dodania insertów kompozytowych na jakość oraz trwałość wypełnień z materiałów złożonych w warunkach klinicznych?
2. Jaka jest częstość występowania nadwrażliwości pozabiegowej w zależności od metody wykonania wypełnienia?
3. Jaka jest zależność wyników oceny klinicznej wypełnień od rodzaju zęba, głębokości ubytku oraz od tego, czy odbudowywane zęby są z żywą miazgą czy po leczeniu endodontycznym?
4. Jakie są parametry wytrzymałościowe (siła niszcząca i energia zniszczenia) wypełnień wykonanych metodą konwencjonalną oraz insertową?
5. Jaki jest rozkład naprężeń i odkształceń w tkankach zęba oraz wewnątrz wypełnień wykonanych metodą konwencjonalną i insertową?

3. Materiał i metody

3.1 Badania kliniczne

Badaniem objęto 295 wypełnień kompozytowych I i II klasy wg Blacka, wykonanych u 117 pacjentów w wieku od 18 do 65 lat, w okresie 07. 2001 - 07. 2003. Wypełnienia wykonano u pacjentów zakwalifikowanych do leczenia z powodu wymiany starych wypełnień, próchnicy pierwotnej i wtórnej oraz po leczeniu endodontycznym. Z badania wykluczono pacjentów, u których stwierdzono parafunkcje, złą higienę jamy ustnej, a także tych, u których niemożliwe było uzyskanie idealnej izolacji pola zabiegowego podczas wykonywania wypełnienia.

Brzegi ubytków I klasy umiejscowione były tylko w obrębie szkliwa, natomiast ubytki II klasy w obrębie szkliwa lub zębiny. Przed rozpoczęciem opracowywania zębów dobierano kolor wypełnienia za pomocą kolornika dedykowanego do danego kompozytu. Ubytki opracowywano według zasad preparacji pod materiały adhezyjne (całkowite usunięcie próchnicy przy minimalnej utracie naturalnych tkanek zęba). W przypadku wymiany wypełnienia usuwano stary materiał w całości. Nie stosowano materiałów podkładowych. W zębach z żywą miazgą, przed przystąpieniem do zabiegu, wykonywano znieczulenie nasiękowe lub przewodowe preparatami 4% Ubistesin forte lub 4% Ubistesin (3MESPE, Seefeld, Niemcy). Do opracowania ubytków wykorzystano wiertła z nasypem diamentowym do turbiny (802314023, 830LEF314014 – Komet, Lemgo, Niemcy) oraz karborundowe do mikrosilnika (H1204021, H1204014 - Komet). Zawsze stosowano obfite chłodzenie wodno-powietrzne. Brzegi ubytków wygładzano pod kątem 80° w stosunku do ściany ubytku, wiertłem diamentowym o drobnym

nasypie. Następnie zakładano koferdam (Hygenic - Coltene Wheledent, Altstätten, Szwajcaria). Ubytki przepłukiwano sprayem wodnym oraz osuszano za pomocą strumienia powietrza. W przypadku ubytków II klasy, w celu odtworzenia powierzchni stycznych stosowano formówki częściowe Sectional Matrix Retainer System (3MESPE) oraz drewniane kliny uszczelniające. Do wykonania wypełnień zastosowano dwa materiały złożone: klasyczny kompozyt mikrohybrydowy Filtek Z250 (3MESPE) oraz kompozyt z domieszką prepolimeryzowanego wypełniacza Gradia (GC, Aichi, Japonia). Wypełnienia wykonywano jedną z dwóch metod: metodą konwencjonalną lub metodą insertową. Opracowane ubytki losowo przydzielano do jednej z 8 grup: I grupa - Filtek Z250 bez insertów (I klasa wg Blacka), II - Gradia bez insertów (I klasa wg Blacka), III - Filtek Z250 bez insertów (II klasa wg Blacka), IV - Gradia bez insertów (II klasa wg Blacka), V - Filtek Z250 z insertami (I klasa wg Blacka), VI – Gradia z insertami (I klasa wg Blacka), VII - Filtek Z250 z insertami (II klasa wg Blacka) oraz VIII grupa - Gradia z insertami (II klasa wg Blacka) (Tab. I).

Metoda konwencjonalna (bez insertów)

Po opracowaniu ubytki wytrawiano 37% kwasem ortofosforowym w żelu (Ultra Etch – Ultradent, Salt Lake City, USA). Trawiono zarówno szkliwo (30 s), jak i zębinę (15 s) - *total etch technic*. Następnie wytrawiacz wypłukiwano sprayem wodnym przez 60 s oraz osuszano ubytki słabym strumieniem powietrza przez 3 - 5 s. W dalszej kolejności nakładano uniwersalny system łączący V generacji Single Bond (3MESPE) zarówno na zębinę, jak i na szkliwo - za pomocą szczoteczki typu *microbrush* przez 15 s. System łączący rozprowadzano słabym strumieniem powietrza z dmuchawki w ciągu 15 s oraz polimeryzowano, naświetlając przez 20 s światłem halogenowej lampy polimeryzacyjnej Poly Lux II (161008271219 – KaVo, Biberach, Niemcy). Po

utwardzeniu systemu łączącego nakładano warstwowo materiał złożony (Filtek Z250 lub Gradia), przy czym każdej warstwie nadawano kształt klina na przekroju poprzecznym, a jej grubość nie przekraczała 1,5 mm. Ilość warstw była uzależniona od wielkości ubytku. Każdą warstwę kompozytu utwardzano osobno, najpierw przez 10 s z odległości 20 mm, a następnie przez 30 s z odległości 2 mm – technika „miękkiego startu polimeryzacji”, czyli o zmiennym natężeniu światła. W przypadku zębów z ubytkami II klasy, po zdjęciu formówki wypełnienia dodatkowo naświetlano od strony metalowego paska matrycy po 20s od strony policzkowej oraz językowej/podniebiennej. Powierzchnie okluzyjne wypełnień wykańczano i dostosowywano do wysokości zwarciowej przy pomocy kalki artykulacyjnej (Hanel – Roeko) oraz finirów (H46314018 – Komet) z obfitym chłodzeniem wodno-powietrznym. Na koniec wypełnienia polerowano za pomocą gumek silikonowych (908C, 908M, 908F - Kenda), krążków oraz szczoteczek Soflex (3MESPE) pod stałym chłodzeniem wodno-powietrznym.

Metoda insertowa

Inserty wykonywano z tego samego kompozytu, co całe wypełnienie, tuż przed ich zastosowaniem. Całkowity wiek insertów od momentu polimeryzacji nie przekraczał 30 min. Cienki pasek żywicy kompozytowej o szerokości około 1 mm wyciskano z podajnika do materiałów wypełniających (Dentsply Detry, York, USA) na odtłuszczonej płytce szkiełka mikroskopowego. Następnie przy użyciu skalpela dzielono materiał na niewielkie części. Fragmentom tym nadawano kształt zbliżony do kuli. Dalej, dzięki wykorzystaniu drugiego oczyszczonego szkiełka podstawowego, wstępnie zaokrąglone inserty wykończano, nadając im ostatecznie kształt kuli o średnicy od 0,5 do 0,7 mm. Tak przygotowane inserty utwardzano przy użyciu halogenowej lampy

polimeryzacyjnej Poly Lux II (KaVo) po 40 s z dwóch stron. Po utwardzeniu dokonywano selekcji insertów pod względem kształtu oraz rozmiaru, kwalifikując do badań tylko te inserty, których kształt był kulisty a średnica wynosiła od 0,5 do 0,7mm. Weryfikacja ta była wykonywana przy pomocy stereoskopowego mikroskopu świetlnego Karr Dental (KLQ-M034, powiększenie 20x).

Ubytki opracowywano i przygotowano do wypełniania analogicznie jak w metodzie konwencjonalnej. Po aplikacji systemu łączącego Single Bond nakładano pierwszą warstwę kompozytu (Filtek Z250 lub Gradia) oraz zatapiano w niej przy pomocy pęsety maksymalną ilość wcześniej przygotowanych insertów. Ich liczba była uzależniona od wielkości ubytku (średnio od 3 do 5 w pojedynczej warstwie). Po spolimeryzowaniu pierwszej warstwy, analogicznie jak w metodzie konwencjonalnej, nakładano kolejną warstwę materiału kompozytowego, zawierającą taką samą ilość insertów, jak w pierwszej warstwie. Ilość warstw była uzależniona od wielkości ubytku (średnio 3 warstwy). Zewnętrzna warstwa kompozytu nie zawierała insertów. Każda warstwa na przekroju poprzecznym miała kształt klina a jej grubość nie przekraczała 1,5 mm. Wypełnienia dostosowywano do zgryzu i polerowano analogicznie jak w metodzie konwencjonalnej.

Wypełnienia oceniano za pomocą zgłębnika stomatologicznego (ZG4 – Pol-Intech) oraz lusterka stomatologicznego rodowanego (2033120 - Prodont-Holliger) pod mikroskopem zabiegowym Karr Dental (powiększenie 12x). Wykorzystano skalę USPHS zmodyfikowaną wg van Dijkena (Tab. II a i b) [61]. Ocenie poddano: kształt anatomiczny, adaptację brzeżną, dopasowanie koloru, przebarwienie brzeżne, chropowatość powierzchni oraz obecność próchnicy wtórnej. Wykorzystano także dodatkowe kryteria dotyczące subiektywnej oceny nadwrażliwości pozabiegowej przez

pacjenta oraz reakcji zęba na test termiczny (chlorek etylu – Filofarm, Bydgoszcz, Polska) (Tab. III). Pacjenci byli informowani o przebiegu leczenia oraz rodzaju zakładanego wypełnienia bez podania nazwy metody (z insertami lub bez) oraz materiału wypełniającego (Filtek Z250 lub Gradia). Wypełnienia były oceniane bezpośrednio po wykonaniu, a następnie po 6, 12 oraz 24 miesiącach przez dwóch lekarzy stomatologów odpowiednio przeszkolonych i niezaangażowanych bezpośrednio w badanie. Podczas badań kontrolnych lekarz nie wiedział, jaką metodą i jakim materiałem było wykonane wypełnienie. W trakcie zabiegów oraz wizyt kontrolnych wykonywano dokumentację fotograficzną (Olympus C5050) oraz rentgenograficzną (36104496KFH - Sens-a-Ray 2000) w celu lokalizacji obszarów nieciągłych na granicy materiału wypełniającego i tkanek zęba oraz próchnicy wtórnej.

Wszystkie informacje dotyczące pacjenta, rozpoznania klinicznego, rodzaju wykonanego zabiegu oraz zastosowanego materiału zgromadzone zostały w karcie pacjenta przygotowanej do badań klinicznych. Otrzymane wartości liczbowe zostały poddane analizie statystycznej przy pomocy programu Statistica 5.0 Pl. Wyniki przedstawiono w tabelach wielodzielczych zawierających ilość przypadków oraz ich procentowy odsetek według danej cechy. Porównanie pomiędzy poszczególnymi grupami zostało przeprowadzone testem nieparametrycznym χ^2 Pearsona. Za różnice statystycznie istotne przyjęto te, gdzie wartość $p \leq 0,05$.

3.2 Badania laboratoryjne

3.2.1 Analiza wytrzymałościowa

Badania przeprowadzono na 90 zdrowych ludzkich zębach trzonowych

usuniętych z powodów chirurgicznych. Zęby przechowywano w wodnym roztworze 1% chloraminy przez okres nie dłuższy niż 6 miesięcy. Wszystkie spełniały następujące kryteria: brak próchnicy i przebarwień, brak widocznych pęknięć w obrębie szkliwa oraz prawidłowa budowa anatomiczna. Do wykonania wypełnień zastosowano, podobnie jak w części klinicznej, dwa materiały złożone: klasyczny kompozyt mikrohybrydowy Filtek Z250 (3MESPE – kolor A3) oraz kompozyt z domieszką prepolimeryzowanego wypełniacza Gradia (GC – kolor DA3). Zęby losowo podzielono na 9 grup - 8 badawczych (po 10 wypełnień): I grupa - Filtek Z250 bez insertów (I klasa wg Blacka), II - Gradia bez insertów (I klasa wg Blacka), III - Filtek Z250 bez insertów (II klasa wg Blacka), IV - Gradia bez insertów (II klasa wg Blacka), V - Filtek Z250 z insertami (I klasa wg Blacka), VI – Gradia z insertami (I klasa wg Blacka), VII - Filtek Z250 z insertami (II klasa wg Blacka), VIII - Gradia z insertami (II klasa wg Blacka) oraz IX grupa kontrolna (10 zdrowych zębów) (Tab. I).

Przed przystąpieniem do wykonania preparacji zęby przepłukano solą fizjologiczną oraz oczyszczono mechanicznie z resztek tkanek miękkich przy pomocy szczotek i pasty złożonej z drobnoziarnistego pumeksu i soli fizjologicznej. Po ponownym płukaniu zębów w soli fizjologicznej, osuszeniu wata i strumieniem powietrza wykonano za pomocą wiertel z nasypem diamentowym (802314023, 830LEF314014 - Komet), pod obfitym chłodzeniem wodno-powietrznym, ubytki pierwszej oraz drugiej klasy według Blacka o wymiarach odpowiednio: I klasa – 4 mm długość, 2,5 mm szerokości, 2,5 mm głębokość, II klasa – 6 mm długość, 3 mm szerokości, 3 mm głębokość. Ubytki zlokalizowano w obrębie szkliwa. W przypadku ubytków klasy II w okolicy szyjki zęba, ściana dodziąsłowa ubytku znajdowała się w odległości co najmniej 1 mm od połączenia szkliwno-cementowego. Następnie

wiertłem diamentowym o bardzo drobnym nasypie wygładzono brzegi szkliwa pod kątem 80° w stosunku do ściany ubytku, przepłukano sprayem wodnym i osuszono za pomocą waty oraz strumienia powietrza. Przeprowadzono kontrolę zgodności wymiarów oraz zakwalifikowano do badań tylko te ubytków, których różnice w wymiarach nie przekraczały 10 %. W tym celu wykorzystano stereoskopowy mikroskop świetlny Karr Dental (powiększenie 12x) wraz z okularzem mikrometrycznym. Tak przygotowane ubytki wypełniono jedną z dwóch metod: metodą konwencjonalną lub metodą zmodyfikowaną z insertami, analogicznie jak w części klinicznej. Jediną różnicą była stała ilość insertów oraz warstw w wypełnieniach – odpowiednio 5 sztuk w warstwie 1 i 2 oraz 0 w warstwie 3 (powierzchniowej).

Po założeniu wypełnień ubytki poddano wstępnej kontroli za pomocą zgłębnika oraz stereoskopowego mikroskopu świetlnego Karr Dental (powiększenie 12x). Sprawdzano linię łączenia zęb-wypełnienie. W przypadku stwierdzenia obecności nadmiaru lub niedomiaru materiału kompozytowego, wypełnienia korygowano w celu osiągnięcia jednorodnego przejścia naturalnych tkanek zęba w wypełnienie. Następnie skontrolowano stopień jednorodności wypełnienia. Poszukiwano obszarów nieciągłych wewnątrz wypełnień (puste przestrzenie powietrzne) za pomocą radiowizjografii (Sens-A-Ray 2000). Tak przygotowane zęby przechowywano przez okres 24 godzin w roztworze soli fizjologicznej w temperaturze 37°C . Wykonano, w środowisku wodnym, 2000 termocykli (1 cykl – 30 s w temperaturze 5°C oraz 30 s w temperaturze 55°C). Następnie próbki przekazano do laboratorium Katedry Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki Politechniki Krakowskiej, gdzie wykonano badania wytrzymałościowe (analiza siły niszczącej oraz energii zniszczenia).

Zęby oprawiono w stalowe cylindry (do wysokości szyjki zęba) oraz zalano żywicą epoksydową Epidian 6 (PN-C-89085/13 - Zakłady Chemiczne Sarzyna, Polska) w części korzeniowej. Następnie umieszczano pojedynczo w urządzeniu Instron 4465 z zestawem pomiarowym DMClab (D175636A - Hottinger), gdzie dokonano pomiaru siły niszczącej oraz energii zniszczenia. Głowica niszcząca została wykonana w laboratorium protetycznym ze stopu stomatologicznego (Remanium 800) na podstawie wycisku zęba 18. Poruszała się ona ze stałą prędkością 1 mm/min, do maksymalnej wartości obciążenia 5 kN. Częstość odczytu przemieszczenia wewnątrz próbki wynosiła 10/s. Przed rozpoczęciem pomiaru próbki osuszano z soli fizjologicznej za pomocą sprężonego powietrza. W uchwycie urządzenia pomiarowego kolejne zęby mocowano indywidualnie tak, aby dobrać położenie punktów kontaktu z głowicą niszcząca analogicznie jak w zgryzie fizjologicznym. Dane uzyskane podczas badania gromadzono w formie cyfrowej w komputerze, a jako wynik końcowy dla danej próbki sporządzono raport zawierający, poza danymi numerycznymi, wykres zależności siły [kN] od przemieszczenia [mm] (Ryc.1).

Do analizy statystycznej wyników części laboratoryjnej została zastosowana statystyka opisowa zawierająca średnie arytmetyczne, wartości minimalne i maksymalne oraz odchylenie standardowe. Do kontroli istotności statystycznej wyników wykorzystano test nieparametryczny Manna-Whitneya. Obliczenia przeprowadzono za pomocą programu Statistica 5.0 Pl. Za różnice statystycznie istotne przyjęto te, gdzie wartość $p \leq 0,05$.

3.2.2 Symulacje numeryczne Metodą Elementów Skończonych (MES)

Niezbędne do przeprowadzenia analizy MES dane fizyczne, moduły Younga (E)

oraz liczby Poissona (ν) określające cechy sprężyste poszczególnych tkanek zęba, zaczerpnięto z literatury przedmiotu (Tab. IV) [62, 63]. W przypadku kompozytów (Filtek Z250 - 3MESPE oraz Gradia - GC) wartości stałych materiałowych wyznaczono doświadczalnie. Wykonano 4 rodzaje próbek w kształcie cylindrów (po 10 w grupie) o wymiarach: 15 mm wysokość oraz 10 mm średnica. Grupa I – kompozyt Filtek Z250 bez insertów, grupa II – kompozyt Filtek Z250 z insertami, grupa III – kompozyt Gradia bez insertów oraz grupa IV - kompozyt Gradia z insertami. Próbkę zostały wykonane w szklanych, cylindrycznych formach. Każdej warstwie nadano kształt klina na przekroju poprzecznym, a jej grubość nie przekraczała 2 mm. W przypadku zastosowania insertów w każdej warstwie zatopiono 10 sztuk o wymiarach 0,5-0,7 mm. Kolejne warstwy były polimeryzowane osobno za pomocą halogenowej lampy polimeryzacyjnej Poly Lux II (KaVo) z odległości 1 mm przez 40 s. Wykonano po 8 warstw w każdej próbce. Po utwardzeniu ostatniej warstwy próbki umieszczono w laboratoryjnej lampie polimeryzacyjnej Visio Beta Vario (3MESPE) w celu przeprowadzenia pełnej polimeryzacji w próżni przez okres 15min. Następnie szklaną formę rozbito oraz skontrolowano jakość wykonanej próbki za pomocą stereoskopowego mikroskopu świetlnego Karr Dental (powiększenie 12x). Poszukiwano także obszarów nieciągłych wewnątrz próbek (puste przestrzenie powietrzne) za pomocą radiowizjografii (Sens-A-Ray 2000). Tylko próbki wykazujące litą strukturę zewnętrzną oraz wewnętrzną zostały zakwalifikowane do dalszych badań. Tak przygotowane cylindry przechowywano przez okres 24 godzin w roztworze soli fizjologicznej w temperaturze 37° C. Następnie próbki przekazano do laboratorium Katedry Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki Politechniki Krakowskiej, gdzie dokonano pomiaru stałych Poissona oraz modułów Younga dla poszczególnych grup za pomocą urządzenia INSTRON 4465 wraz z wielokanałowym tensometrycznym układem mostkowym UPM 40 z zestawem

DMClab (Hottinger). Na próbki w kształcie cylindrów naklejono po 4 tensometry foliowe typu TF-3 o stałej tensometrycznej $k = 2,15$ oraz oporności $R = 129,7\Omega$ (TENMEX) - wykorzystano klej firmy Hottinger typ X60. Dzięki tym pomiarom uzyskano wartości sił oraz odpowiadające im przemieszczenia. Na podstawie otrzymanych danych wyliczono stałe materiałowe korzystając z analitycznych wzorów wytrzymałościowych. Analizę numeryczną przeprowadzono dla średnich wartości stałych materiałowych wyznaczonych doświadczalnie (Tab. V).

Modele numeryczne zbudowano w programie FEMAP v.8.2 (Finite Element Modeling And Postprocessing) - Electronic Data System Corp. Jest to program typu CAD (Komputerowego Wspomagania Projektowania) z możliwością przygotowania pliku do obliczeń numerycznych, które przeprowadzono w programie ANSYS v.5.3.

Z pomiarów współrzędnościowych otrzymano współrzędne punktów, na bazie których wygenerowano krzywe w przestrzeni (3-D). Pomiędzy krzywymi rozpięto powierzchnie budując w ten sposób zarys bryły korony zęba. Opierając się na doniesieniach z literatury [63] dotyczących wymiarów przestrzennych korony zęba 16, przeskalowano obszar zewnętrzny tworząc bryłę szkliwa, zębiny oraz miazgi (Ryc. 2). Dla wszystkich struktur zęba przyjęto cechy materiałów izotropowych. Zdefiniowano stałe materiałowe tj. moduły Younga oraz współczynniki Poissona dla wszystkich wyodrębnionych obszarów korony zęba.

Do budowy modelu numerycznego (nałożenie siatki elementów skończonych dyskretyzujących model na części elementarne) wykorzystano element typu tetrahedral - czworoscian, którego ścianami są trójkąty. Ustalono warunki zgryzowe, przyjmując obciążenie o wartości 100 N (średnie obciążenie zgryzowe w przypadku zęba 16 na podstawie literatury) (Ryc. 3). Wartość ta jest niższa od maksymalnych obciążeń dla zębów trzonowych, gdyż celem badania było wyznaczenie rozkładu naprężeń

powstających w twardych tkankach zęba oraz w materiale kompozytowym, a nie ustalenie wartości krytycznych powstających w koronie zęba. Obciążenia zgryzowe przykładano pionowo tak, aby punkty przyłożenia sił nie znajdowały się na granicy preparacji tkanek zęba oraz wypełnienia.

Zamocowanie zęba zasymulowano odbierając stopnie swobody w trzech kierunkach X, Y, Z, na wysokości szyjki anatomicznej zęba. Wykorzystano w tym celu zasadę wytrzymałościową De Saint-Venanta. Do wykonania modelu korony zęba nie jest potrzebny obszar korzenia zęba, gdyż strefa ta ma niewielki wpływ na wyężenie twardych tkanek części koronowej. W związku z tym korzeń można pominąć, zastępując go sztywnym umocowaniem na wysokości anatomicznej szyjki zęba. Tak przygotowane zadanie zdefiniowano jako grupę kontrolną, do której odnoszono wyniki późniejszych analiz.

Wykonano modele 8 rodzajów wypełnień w pierwszym, górnym zębie trzonowym w zwarciu prawidłowym, odpowiadających 8 grupom badawczym. Do projektowania trójwymiarowych modeli przestrzennych ubytków I i II klasy wg Blacka, z insertami oraz bez, wykonanych z Filteku Z250 lub Gradii wykorzystano analogiczne wymiary wypełnień jak w badaniach wytrzymałościowych (I klasa – 4 mm długość, 2,5 mm szerokości, 2,5 mm głębokość, II klasa – 6 mm długość, 3 mm szerokości, 3 mm głębokość). Kąt rozbieżności ubytku wynosił 15° , a promień zaokrąglenia 0,25 mm, co odpowiada zaokrągleniu wiertel używanych do preparacji pod wypełnienia kompozytowe (Ryc. 4, 5).

Analizę naprężeń oraz odkształceń przeprowadzono dla następujących zadań:

Zadanie 1: Dotyczyło analizy bezpośrednich wypełnień kompozytowych I klasy wg Blacka wykonanych z kompozytu Filtek Z250. W tym zadaniu analizowano 2 przypadki w zależności od zastosowanej metody wypełniania: z insertami lub bez

(grupa I i V).

Zadanie 2: Dotyczyło analizy bezpośrednich wypełnień kompozytowych II klasy wg Blacka wykonanych z kompozytu Filtek Z250. W tym zadaniu analizowano 2 przypadki w zależności od zastosowanej metody wypełniania: z insertami lub bez (grupa III i VII).

Zadanie 3 oraz zadanie 4: Dotyczyło analizy w przypadku zastosowania kompozytu Gradia, przy analogicznych założeniach jak w zadaniu 1 oraz 2 (odpowiednio: grupa II i VI oraz grupa IV i VIII).

Zadanie 5: Dotyczyło analizy zdrowego zęba – grupa kontrolna (IX).

Jako wynik końcowy symulacji numerycznych metodą MES uzyskano modele przestrzenne zębów zdrowych oraz z ośmioma typami wypełnień, gdzie kolorem oznaczono wielkość naprężeń oraz odkształceń w danym obszarze wewnątrz wypełnienia i tkankach zęba. Obrazowanie to umożliwia analizę obszarów wyężenia konstrukcji, czyli wskazania miejsc potencjalnie najbardziej narażonych na wystąpienie pęknięć. Dla wszystkich pięciu zadań wykonano następujące analizy:

1. naprężeń zredukowanych według hipotezy wytrzymałościowej Hubera-Misesa-Hencky'ego (HMH) - δ_{HMH} [MPa],
2. odkształceń głównych - ε_1 [wartość bezwymiarowa].

4. Wyniki

4.1 Wyniki badań klinicznych

Wykonano 295 wypełnień u 117 pacjentów w wieku od 18 do 65 lat (średnia $36,6 \pm 12,3$). W 133 przypadkach zastosowano metodę klasyczną bez insertów, a w 162 metodę zmodyfikowaną z insertami. Kompozyt Filtek Z250 był użyty w 164 wypełnieniach, natomiast kompozyt Gradia w 131. W zębach przedtrzonowych założono 185 wypełnień, a w zębach trzonowych 112. Wykonano 132 wypełnienia I klasy oraz 163 II klasy wg Blacka, zarówno w zębach z żywą miazgą ($n = 160$), jak i po leczeniu endodontycznym ($n = 135$).

Po przeprowadzeniu wizyt kontrolnych w okresie 6, 12 i 24 miesięcy od założenia wypełnienia z badań wykluczono 9 pacjentów (12 wypełnień), u których nie wykonano wszystkich wizyt kontrolnych.

Na 283 wypełnienia zaakceptowane do końcowej analizy wyników składała się następująca liczba wypełnień w poszczególnych grupach (w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania - z insertami lub bez): grupa I – 33, grupa II – 27, grupa III – 36, grupa IV – 31, grupa V – 39, grupa VI – 32, grupa VII – 47 oraz grupa VIII – 38.

Odsetek powodzeń w całym okresie badawczym (tj. wypełnień klinicznie akceptowalnych wg oceny skalą USPHS) - niezależnie od zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania - wyniósł 95,4% po 12 miesiącach oraz 94% po

24 miesiącach od wykonania wypełnienia. W poszczególnych grupach, po 12 miesiącach, wartości te wyniosły: grupa I – 93,94%; grupa II – 100%; grupa III – 83,4%; grupa IV – 87,1%; grupa V i VI – 100%; grupa VII – 95,65% oraz grupa VIII – 100%. Po 24 miesiącach odnotowano zmniejszenie ilości wypełnień akceptowalnych w grupie III oraz VII, odpowiednio: 77,8% oraz 93,48%. Statystycznie istotny wyższy odsetek powodzeń po 24 miesiącach stwierdzono dla wypełnień wykonanych metodą insertową (97,66%) w stosunku do metody konwencjonalnej (90,97%) – $p = 0,001$ (Ryc. 6).

Podczas wizyt kontrolnych odnotowano 17 niepowodzeń (6%), które przedstawiono w tabeli VI. Przyczyną niepowodzeń w 12 przypadkach (4,24%) była nieakceptowalna adaptacja brzeżna wypełnień z towarzyszącą próchnicą wtórną, przebarwieniem brzeżnym oraz nadwrażliwością na bodźce zewnętrzne w przypadku zębów z żywą miazgą. W poszczególnych grupach odsetek ten wynosił: 2 wypełnienia (6,06%) w grupie I; 4 wypełnienia (11,1%) w grupie III; 4 wypełnienia (12,9%) w grupie IV oraz 2 wypełnienia (4,35%) w grupie VII. W 5 przypadkach (1,77%) stwierdzono pęknięcie lub ukruszenie fragmentu wypełnienia – 4 wypełnienia (11,1%) w grupie III oraz 1 wypełnienie (2,2%) w grupie VII. Podczas 24miesięcznego okresu obserwacji nie stwierdzono całkowitej utraty wypełnienia oraz zapalenia miazgi w przypadku zębów z żywą miazgą. 14 niepowodzeń (82,3%) miało miejsce w pierwszych 12 miesiącach po wykonaniu wypełnienia, a 3 (17,7%) - w kolejnych 12 miesiącach.

Wyniki klinicznej oceny jakości wypełnień kompozytowych za pomocą skali USPHS zmodyfikowanej przez van Dijkena przedstawiono w tabelach wielozdzielczych

VII-XIII, zawierających liczbę i odsetek przypadków danej oceny badanej cechy w poszczególnych grupach oraz w kolejnych badaniach kontrolnych. Weryfikację wpływu rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez (grupy I-VIII) - nna poszczególne cechy oceny klinicznej przeprowadzono testem χ^2 Pearsona. Za różnice statystycznie istotne przyjęto te, gdzie wartość $p \leq 0,05$.

W badaniu klinicznym bezpośrednio po wykonaniu wypełnienia otrzymano następujące wyniki wg skali USPHS. Pod względem kształtu anatomicznego oraz chropowatości powierzchni ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie I-VI i VIII oraz 46 wypełnień (97,9%) w grupie VII. Ocenę 1 otrzymało 1 wypełnienie (2,1%) w grupie VII (Tab. VII, XI). Pod względem adaptacji brzeżnej ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie III-VIII oraz 32 wypełnienia (97%) w grupie I i 26 wypełnień (96,3%) w grupie II. Ocenę 1 przyznano po 1 wypełnieniu w grupie I i II (odpowiednio 3% oraz 3,7%) (Tab. VIII). Pod względem dopasowania koloru, przebarwienia brzeżnego oraz próchnicy wtórnej 100% wypełnień otrzymało ocenę 0 (Tab. IX, X i XII).

W badaniu klinicznym 6 miesięcy po wykonaniu wypełnienia otrzymano następujące wyniki. Pod względem kształtu anatomicznego ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie II, V, VI i VIII oraz 30 wypełnień (90,9%) w grupie I, 30 wypełnień (83,3%) w grupie III, 27 wypełnień (87,1%) w grupie IV oraz 45 wypełnień (95,7%) w grupie VII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 3 (9,1%) w grupie I, 5 (13,9%) w grupie III, 4 (12,9%) w grupie IV oraz 2 (4,3%) w grupie VII. Ocenę 2 przyznano 1 wypełnieniu (2,8%) w grupie III (Tab. VII).

Pod względem adaptacji brzeżnej ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie

II, V, VI i VIII oraz 28 wypełnień (84,8%) w grupie I, 30 wypełnień (83,3%) w grupie III, 27 wypełnień (87,1%) w grupie IV oraz 45 wypełnień (95,7%) w grupie VII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 5 (15,2%) w grupie I, 3 (8,3%) w grupie III, 2 (6,5%) w grupie IV oraz 1 (2,1%) w grupie VII. Ocenę 2 przyznano wypełnieniom: 3 (8,3%) w grupie III, 2 (6,5%) w grupie IV oraz 1 (2,1%) w grupie VII (Tab. VIII).

Pod względem dopasowania koloru ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie II, V, VI i VIII oraz 31 wypełnień (93,9%) w grupie I, 33 wypełnienia (91,7%) w grupie III, 29 wypełnień (93,5%) w grupie IV oraz 46 wypełnień (97,9%) w grupie VII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 2 (6,1%) w grupie I, 3 (8,3%) w grupie III, 2 (6,5%) w grupie IV oraz 1 (2,1%) w grupie VII (Tab. IX).

Pod względem przebarwienia brzeżnego ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie II, V, VI i VIII oraz 30 wypełnień (90,9%) w grupie I, 31 wypełnień (86,1%) w grupie III, 29 wypełnień (93,5%) w grupie IV oraz 46 wypełnień (97,9%) w grupie VII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 2 (6,1%) w grupie I, 2 (5,6%) w grupie III, oraz 1 (2,1%) w grupie VII. Ocenę 2 przyznano wypełnieniom: 1 (3,0%) w grupie I, 3 (8,3%) w grupie III oraz 2 (6,5%) w grupie IV (Tab. X).

Pod względem chropowatości powierzchni ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie II, V i VI oraz 30 wypełnień (90,9%) w grupie I, 29 wypełnień (80,6%) w grupie III, 27 wypełnień (87,1%) w grupie IV oraz 45 wypełnień (95,7%) w grupie VII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 2 (6,1%) w grupie I, 2 (5,6%) w grupie III, 2 (6,5%) w grupie IV, 2 (4,3%) w grupie VII oraz 1 (2,6%) w grupie VIII. Ocenę 2 przyznano wypełnieniom: 1 (3,0%) w grupie I, 5 (13,9%) w grupie III oraz 2 (6,5%) w grupie IV (Tab. XI).

Pod względem próchnicy wtórnej ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie I, II i V-VIII oraz 34 wypełnienia (94,4%) w grupie III oraz 28 wypełnień (90,3%) w

grupie IV. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 2 (5,6%) w grupie III oraz 3 (9,7%) w grupie IV (Tab. XII).

Po 12 miesiącach obserwacji uzyskano następujące wyniki. Pod względem kształtu anatomicznego ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie V oraz 24 wypełnienia (72,7%) w grupie I, 24 wypełnienia (88,9%) w grupie II, 19 wypełnień (52,8%) w grupie III, 24 wypełnienia (77,4%) w grupie IV, 31 wypełnień (96,9%) w grupie VI, 42 wypełnienia (89,4%) w grupie VII oraz 36 wypełnień (94,7%) w grupie VIII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 8 (24,2%) w grupie I, 3 (11,1%) w grupie II, 15 (41,7%) w grupie III, 5 (16,1%) w grupie IV, 1 (3,1%) w grupie VI, 3 (6,4%) w grupie VII oraz 2 (5,3%) w grupie VIII. Ocenę 2 przyznano 1 wypełnieniu (3,0%) w grupie III oraz po 2 wypełnieniom w grupach III, IV oraz VII (odpowiednio: 5,6%, 6,5% i 4,4%) (Tab. VII).

Pod względem adaptacji brzeżnej ocenę 0 otrzymało 13 wypełnień (39,4%) w grupie I, 20 wypełnień (74,1%) w grupie II, 16 wypełnień (44,4%) w grupie III, 20 wypełnień (64,5%) w grupie IV, 33 wypełnienia (84,6%) w grupie V, 29 wypełnień (90,6%) w grupie VI, 39 wypełnień (83,0%) w grupie VII oraz 37 wypełnień (97,4%) w grupie VIII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 18 (54,5%) w grupie I, 7 (25,9%) w grupie II, 13 (36,1%) w grupie III, 7 (22,6%) w grupie IV, 6 (15,4%) w grupie V, 3 (9,4%) w grupie VI, 5 (10,6%) w grupie VII oraz 1 (2,6%) w grupie VIII. Ocenę 2 przyznano 2 wypełnieniom (6,1%) w grupie I, 6 (16,7%) w grupie III, 3 (9,7%) w grupie IV oraz 2 (4,3%) w grupie VII. Ocenę 3 otrzymało 1 wypełnienie w grupach III, IV oraz VII (odpowiednio: 2,8%, 3,2% i 2,1%) (Tab. VIII).

Pod względem dopasowania koloru ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie VIII oraz 21 wypełnień (63,6%) w grupie I, 26 wypełnień (96,3%) w grupie II,

23 wypełnienia (63,9%) w grupie III, 29 wypełnień (93,5%) w grupie IV, 35 wypełnień (89,7%) w grupie V, 31 wypełnień (96,9%) w grupie VI oraz 40 wypełnień (85,1%) w grupie VII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 12 (36,4%) w grupie I, 1 (3,7%) w grupie II, 10 (27,8%) w grupie III, 4 (10,3%) w grupie V, 1 (3,1%) w grupie VI oraz 6 (12,8%) w grupie VII. Ocenę 2 przyznano 3 wypełnieniom (8,3%) w grupie III, 2 (6,5%) w grupie IV oraz 1 (2,1%) w grupie VII (Tab. IX).

Pod względem przebarwienia brzeżnego ocenę 0 otrzymało 14 wypełnień (42,4%) w grupie I, 14 wypełnień (51,9%) w grupie II, 11 wypełnień (30,6%) w grupie III, 18 wypełnień (58,1%) w grupie IV, 23 wypełnienia (59,0%) w grupie V, 29 wypełnień (90,6%) w grupie VI, 27 wypełnień (57,4%) w grupie VII oraz 25 wypełnień (65,8%) w grupie VIII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 16 (48,5%) w grupie I, 13 (48,1%) w grupie II, 17 (47,2%) w grupie III, 9 (29,0%) w grupie IV, 16 (41,0%) w grupie V, 3 (9,4%) w grupie VI, 18 (38,3%) w grupie VII oraz 13 (34,2%) w grupie VIII. Ocenę 2 przyznano 2 wypełnieniom (6,1%) w grupie I, 7 (19,4%) w grupie III, 2 (6,5%) w grupie IV oraz 2 (4,3%) w grupie VII. Ocenę 3 otrzymało 1 wypełnienie w grupie I i III (odpowiednio: 3,0% i 2,8%) oraz 2 wypełnienia (6,5%) w grupie IV (Tab. X).

Ze względu na chropowatość powierzchni ocenę 0 otrzymało 11 wypełnień (33,3%) w grupie I, 12 wypełnień (44,4%) w grupie II, 6 wypełnień (16,7%) w grupie III, 12 wypełnień (38,7%) w grupie IV, 22 wypełnienia (56,4%) w grupie V, 23 wypełnienia (71,9%) w grupie VI, 26 wypełnień (55,3%) w grupie VII oraz 24 wypełnienia (63,2%) w grupie VIII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 20 (60,6%) w grupie I, 14 (51,9%) w grupie II, 22 (61,1%) w grupie III, 15 (48,4%) w grupie IV, 17 (43,6%) w grupie V, 9 (28,1%) w grupie VI, 18 (38,3%) w grupie VII oraz 14 (36,8%) w grupie VIII. Ocenę 2 przyznano po 1 wypełnieniu w grupach I, II i III (odpowiednio:

3,0%, 3,7% i 3,2%) oraz 3 wypełnieniom w grupie III i VII (odpowiednio: 8,3% i 6,4%). Ocenę 3 otrzymało 1 wypełnienie (3,0%) w grupie I, 5 wypełnień (13,9%) w grupie III oraz 3 wypełnienia (9,7%) w grupie IV (Tab. XI).

Pod względem próchnicy wtórnej ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie II, V, VI i VIII oraz 31 wypełnień (93,9%) w grupie I, 31 wypełnień (86,1%) w grupie III, 27 wypełnień (87,1%) w grupie IV oraz 45 wypełnień (95,7%) w grupie VII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 2 (6,1%) w grupie I, 5 (13,9%) w grupie III, 4 (12,9%) w grupie IV oraz 2 (4,3%) w grupie VII (Tab. XII).

Po 24 miesiącach pod względem kształtu anatomicznego ocenę 0 otrzymały 4 wypełnienia (12,1%) w grupie I, 8 wypełnień (29,6%) w grupie II, 6 wypełnień (16,7%) w grupie III, 7 wypełnień (22,6%) w grupie IV, 12 wypełnień (30,08%) w grupie V, 15 wypełnień (46,9%) w grupie VI, 13 wypełnień (27,7%) w grupie VII oraz 22 wypełnienia (57,9%) w grupie VIII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 27 (81,8%) w grupie I, 19 (70,4%) w grupie II, 22 (61,1%) w grupie III, 20 (64,5%) w grupie IV, 27 (69,2%) w grupie V, 17 (53,1%) w grupie VI, 31 (66,0%) w grupie VII oraz 16 (42,1%) w grupie VIII. Ocenę 2 przyznano 2 wypełnieniom (6,1%) w grupie I, 6 (16,7%) w grupie III, 3 (9,7%) w grupie IV oraz 3 (6,4%) w grupie VII. Ocenę 3 otrzymały 2 wypełnienia (5,6%) w grupie III oraz 1 wypełnienie (3,2%) w grupie IV (Tab. VII).

Pod względem adaptacji brzeżnej ocenę 0 otrzymało 0 wypełnień w grupie I, 10 wypełnień (37,0%) w grupie II, 1 wypełnienie (2,8%) w grupie III, 13 wypełnień (41,9%) w grupie IV, 7 wypełnień (17,9%) w grupie V, 16 wypełnień (50,0%) w grupie VI, 16 wypełnień (34,0%) w grupie VII oraz 14 wypełnień (36,8%) w grupie VIII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 27 (81,8%) w grupie I, 17 (63,0%) w grupie II, 26 (72,2%) w grupie III, 13 (41,9%) w grupie IV, 32 (82,1%) w grupie V, 16 (50,0%) w

grupie VI, 28 (59,6%) w grupie VII oraz 24 (63,2%) w grupie VIII. Ocenę 2 przyznano 4 wypełnieniom (12,1%) w grupie I oraz po 1 wypełnieniu w grupie III i IV (odpowiednio: 2,8% i 3,2%). Ocenę 3 otrzymały 2 wypełnienia (6,1%) w grupie I, 8 wypełnień (22,2%) w grupie III, 4 wypełnienia (12,9%) w grupie IV oraz 3 wypełnienia (6,4%) w grupie VII (Tab. VIII).

Pod względem dopasowania koloru ocenę 0 otrzymało 0 wypełnień w grupie I, 18 wypełnień (66,7%) w grupie II, 5 wypełnień (13,9%) w grupie III, 17 wypełnień (54,8%) w grupie IV, 18 wypełnień (46,2%) w grupie V, 24 wypełnienia (75,0%) w grupie VI, 25 wypełnień (53,2%) w grupie VII oraz 28 wypełnień (73,7%) w grupie VIII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 31 (93,9%) w grupie I, 9 (33,3%) w grupie II, 22 (61,1%) w grupie III, 10 (32,3%) w grupie IV, 20 (51,3%) w grupie V, 8 (25,0%) w grupie VI, 19 (40,4%) w grupie VII oraz 10 (26,3%) w grupie VIII. Ocenę 2 przyznano 2 wypełnieniom (6,1%) w grupie I, 7 (19,4%) w grupie III, 3 (9,7%) w grupie IV, 1 (2,6%) w grupie V oraz 3 (6,4%) w grupie VII. Ocenę 3 otrzymały 2 wypełnienia (5,6%) w grupie III oraz 1 wypełnieniu (3,2%) w grupie IV (Tab. IX).

Pod względem przebarwienia brzeżnego ocenę 0 otrzymało 1 wypełnienie (3,0%) w grupie I, 3 wypełnienia (11,1%) w grupie II, 1 wypełnienie (2,8%) w grupie III, 3 wypełnienia (9,7%) w grupie IV, 4 wypełnienia (10,3%) w grupie V, 8 wypełnień (25,0%) w grupie VI, 3 wypełnienia (6,4%) w grupie VII oraz 7 wypełnień (18,4%) w grupie VIII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 21 (63,6%) w grupie I, 23 (85,2%) w grupie II, 21 (58,3%) w grupie III, 21 (67,7%) w grupie IV, 34 (87,2%) w grupie V, 24 (75,0%) w grupie VI, 40 (85,1%) w grupie VII oraz 31 (81,6%) w grupie VIII. Ocenę 2 przyznano 9 wypełnieniom (27,3%) w grupie I, 1 (3,7%) w grupie II, 7 (19,4%) w grupie III, 3 (9,7%) w grupie IV, 1 (2,6%) w grupie V oraz 1 (2,1%) w grupie VII. Ocenę 3 otrzymały 2 wypełnienia (6,1%) w grupie I, 7 wypełnień (19,4%) w grupie III,

4 wypełnienia (12,9%) w grupie IV oraz 3 wypełnienia (6,4%) w grupie VII (Tab. X).

Ze względu na chropowatość powierzchni ocenę 0 otrzymało 0 wypełnień w grupie I, 2 wypełnienia (7,4%) w grupie II, 1 wypełnienie (2,8%) w grupie III, 3 wypełnienia (9,7%) w grupie IV, 2 wypełnienia (5,1%) w grupie V, 4 wypełnienia (12,5%) w grupie VI, 3 wypełnienia (6,4%) w grupie VII oraz 5 wypełnień (13,2%) w grupie VIII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 23 (69,7%) w grupie I, 22 (81,5%) w grupie II, 18 (50,0%) w grupie III, 21 (67,7%) w grupie IV, 37 (94,9%) w grupie V, 28 (87,5%) w grupie VI, 40 (85,1%) w grupie VII oraz 31 (81,6%) w grupie VIII. Ocenę 2 przyznano 8 wypełnieniom (24,2%) w grupie I, 3 (11,1%) w grupie II, 10 (27,8%) w grupie III, 3 (9,7%) w grupie IV, 1 (2,1%) w grupie VII oraz 2 (5,3%) w grupie VIII. Ocenę 3 otrzymały 2 wypełnienia (6,1%) w grupie I, 7 wypełnień (19,4%) w grupie III, 4 wypełnienia (12,9%) w grupie IV oraz 3 wypełnienia (6,4%) w grupie VII (Tab. XI).

Pod względem próchnicy wtórnej ocenę 0 otrzymało 100% wypełnień w grupie II, V, VI i VIII oraz 31 wypełnień (93,9%) w grupie I, 29 wypełnień (80,6%) w grupie III, 27 wypełnień (87,1%) w grupie IV oraz 44 wypełnień (93,6%) w grupie VII. Ocenę 1 otrzymały wypełnienia: 2 (6,1%) w grupie I, 7 (19,4%) w grupie III, 4 (12,9%) w grupie IV oraz 3 (6,4%) w grupie VII (Tab. XII).

W pierwszym badaniu kontrolnym nie stwierdzono istotnego statystycznie wpływu rodzaju wypełnienia (grupy I-VIII) na żadną spośród z 6 cech skali USPHS (kształt anatomiczny, adaptacja brzeżna, dopasowanie koloru, przebarwienie brzeżne, chropowatości powierzchni, próchnica wtórna). We wszystkich grupach otrzymano podobne wyniki względem badanej cechy.

W badaniu kontrolnym po 6 miesiącach nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie dotyczących zmiany koloru ($p = 0,150$). Tendencję stwierdzono dla

przebarwienia brzeżnego ($p = 0,054$), natomiast istotne statystycznie wyniki we wszystkich pozostałych cechach, odpowiednio: kształt anatomiczny ($p = 0,028$), adaptacja brzeżna ($p = 0,003$), chropowatość powierzchni ($p = 0,009$) oraz próchnica wtórna ($p = 0,012$).

Po 12 i 24 miesiącach wpływ rodzaju wypełnienia na ocenę badanych cech był wysoce istotny dla wszystkich parametrów skali USPHS ($p = 0,001$).

W badaniu kontrolnym po okresie 12 i 24 miesięcy odnotowano statystycznie istotną wyższą jakość wypełnień wykonanych techniką insertową (grupy V-VIII) względem metody konwencjonalnej (grupy I-IV), niezależnie od rodzaju zastosowanego kompozytu oraz klasy ubytku. Różnice te występowały w odniesieniu do wszystkich ocenianych cech skali USPHS.

Biorąc pod uwagę cały okres badawczy (24 miesiące) oraz wszystkie grupy, najlepsze rezultaty osiągnięto stosując metodę insertową w połączeniu z kompozytem Gradia, zarówno w przypadku klasy I jak i II. Wypełnienia te uzyskały statystycznie istotną wyższą ocenę w odniesieniu do wszystkich 6 cech skali USPHS ($p = 0,001$) (Tab. VII-XII).

Istotne statystycznie różnice odnotowano w częstości występowania subiektywnych dolegliwości bólowych zgłaszanych przez pacjentów (w odniesieniu do zębów z żywą miazgą) pomiędzy grupą III i VIII (dokładny test Fishera – $p = 0,035$). W grupie III (wypełnienia z kompozytu Filtek Z250 II klasy wg Blacka metodą konwencjonalną) dolegliwości bólowe po zabiegu, kwalifikowane jako nieakceptowalne (ból zęba pojawiający się po zadziaaniu bodźca zewnętrznego, utrzymujący się po zaprzestaniu działania bodźca) występowały istotnie statystycznie

częściej niż w grupie VIII (wypełnienia z kompozytu Gradia II klasy Blacka metodą insertową) - odpowiednio: 8 wypełnień (30,83%) oraz 0 wypełnień. Podobną zależność - o typie tendencji ($p = 0,09$) – stwierdzono w odniesieniu do grupy IV (wypełnienia z kompozytu Gradia II klasy Blacka metodą konwencjonalną) i VIII, odpowiednio: 4 wypełnienia (23,5%) oraz 0 wypełnień. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w częstości występowania patologicznej reakcji miazgi zęba na test termiczny przy pomocy chlorku etylu ($p = 0,221$) (Ryc. 7).

Rodzaj zęba - przedtrzonowy 177 wypełnień (62,5%) lub trzonowy 106 wypełnień (37,5%) - nie miał istotnie statystycznego wpływu na ocenę poszczególnych parametrów USPHS w kolejnych okresach kontroli klinicznych ($p = 0,817$), z wyjątkiem oceny klinicznej po 24 miesiącach: 1) kształtu anatomicznego w grupie I ($p = 0,027$); 2) dopasowania koloru w grupie VI ($p = 0,05$) oraz adaptacji brzeżnej w grupie VIII ($p = 0,007$) (Tab. XIII-XV). Podobnie nie stwierdzono wpływu głębokości preparowanego ubytku - 87 wypełnień o średniej głębokości (30,7%) oraz 196 głębokich (69,3%) - na późniejszą jakość wypełnienia ($p=0,251$) (Tab. XVI-XVIII). Także nieistotne statystycznie różnice odnotowano względem wpływu żywotności zęba na ocenę jakości badanych wypełnień - 153 wypełnienia w zębach z żywą miazgą (54,06%) oraz 130 wypełnień w zębach po leczeniu endodontycznym (45,94%) – $p = 0,3$, z wyjątkiem oceny adaptacji brzeżnej po 24 miesiącach w grupie VII ($p = 0,037$) (Tab. XIX-XXI).

4.2 Wyniki badań laboratoryjnych

4.2.1 Wyniki analizy wytrzymałościowej

W badaniach laboratoryjnych za pomocą analizy wytrzymałościowej uzyskano następujące wartości siły niszczącej oraz energii zniszczenia.

Dla materiału kompozytowego Filtek Z250 w grupie I bez insertów (I klasa wg Blacka) średnia wartość siły niszczącej wyniosła 1,381 kN, a wartość min. i maks. odpowiednio 0,585 kN oraz 2,64 kN (odch. stand. 0,753), analogiczne wartości dla energii zniszczenia wyniosły odpowiednio: 0,865 kN (średnia), 0,186 kN (min.), 1,699 kN (maks.) oraz 0,638 (odch. stand.). W grupie II (Gradia, I klasa wg Blacka bez insertów) średnia wartość siły niszczącej wyniosła 3,347 kN z wartością minimalną i maksymalną wynoszącą 1,619 kN oraz 5,027 kN (odch. stand. 1,014). Wartości energii zniszczenia w tej grupie wyniosły: 2,359 kN (średnia), 0,711 kN (min.), 3,827 kN (maks.) oraz 0,9 (odch. stand.).

Po dodaniu insertów wartości te dla kompozytu Filtek Z250 (grupa V) zwiększyły się – odpowiednio: siła niszcząca 2,261 kN (min. 1,162 kN, maks. 3,313 kN, odch. stand. 0,84) oraz energia zniszczenia 1,328 kN (min. 0,489 kN, maks. 2,035 kN, odch. stand. 0,615). W przypadku kompozytu Gradia, po dodaniu insertów (grupa VI), odnotowano spadek obu mierzonych wartości – odpowiednio: siła niszcząca 1,837 kN (min. 0,639 kN, maks. 3,553 kN, odch. stand. 0,988) oraz energia zniszczenia 0,998 kN (min. 0,137 kN, maks. 2,293 kN, odch. stand. 0,714) (Ryc. 8, 9).

W klasie II wg Blacka stosując materiał kompozytowy Filtek Z250 oraz metodę konwencjonalną (grupa III) uzyskano średnią wartość siły niszczącej równą 2,074 kN, a wartość minimalna i maksymalna wyniosła odpowiednio 1,518 kN oraz 3,122 kN (odch. stand. 0,692). Wartości energii zniszczenia dla tej grupy wyniosły: 1,105 kN (średnia), 0,708 kN (min.), 1,819 kN (maks.) oraz 0,463 (odch. stand.). Dla materiału

kompozytowego Gradia w grupie IV bez insertów (II klasa wg Blacka) średnia wartość siły niszczącej wyniosła 3,372 kN, a wartość min. i maks. odpowiednio 1,755 kN oraz 5,035 kN (odch. stand. 1,415), analogiczne wartości dla energii zniszczenia wyniosły odpowiednio: 2,054 kN (średnia), 0,753 kN (min.), 3,491 kN (maks.) oraz 1,168 (odch. stand.). Po dodaniu insertów do wypełnień II klasy z kompozytu Filtek Z250 (grupa VII), wartość siły niszczącej uległa zmniejszeniu a wartość energii zniszczenia zwiększeniu – odpowiednio: siła niszcząca 1,872 kN (min. 1,151 kN, maks. 2,965 kN, odch. stand. 0,65) oraz energia zniszczenia 1,139 kN (min. 0,42 kN, maks. 2,207 kN, odch. stand. 0,716). Dla kompozytu Gradia, po dodaniu insertów do wypełnień II klasy (grupa VIII), zarówno siła niszcząca, jak i energia zniszczenia uległy zmniejszeniu – odpowiednio: siła niszcząca 1,852 kN (min. 1,017 kN, maks. 2,707 kN, odch. stand. 0,668) oraz energia zniszczenia 1,014kN (min. 0,329 kN, maks. 2,079 kN, odch. stand. 0,617) (Ryc. 8, 9).

W przypadku grupy kontrolnej IX (zdrowe zęby bez wypełnień) średnia wartość siły niszczącej wyniosła 1,812 kN, a wartość min. i maks. odpowiednio 1,108 kN oraz 3,004kN (odch. stand. 0,698). Wartości energii zniszczenia w tej grupie wyniosły: 1,294 kN (średnia), 0,544 kN (min.), 2,487 kN (maks.) oraz 0,815 (odch. stand.) (Ryc. 8, 9).

Analizę statystyczną wyników badań wytrzymałościowych przeprowadzono testem nieparametrycznym Manna-Whitney'a ze względu na liczebność porównywanych grup oraz niejednorodny rozkład wariancji. Za różnice statystycznie istotne przyjęto te, gdzie wartość $p \leq 0,05$, tendencję dla $0,05 < p \leq 0,1$ oraz nieistotne statystycznie dla $p > 0,1$. Po analizie średnich wartości siły niszczącej w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania (z insertami

lub bez), stwierdzono istotne statystycznie różnice dla następujących grup: grupa I względem grup II-V, grupa II względem grupy III i V-IX, grupa III względem grupy IV oraz grupa IV względem grup VI-IX. Tendencję odnotowano dla grupy I względem grup VIII i IX oraz dla grupy IV względem grupy V. Analiza średnich wartości energii zniszczenia w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania (z insertami lub bez), wykazała następujące istotne statystycznie różnice: grupa I względem grupy II i IV, grupa II względem grupy III i V-IX, grupa III względem grupy IV oraz grupa IV względem grupy VI. Tendencję stwierdzono dla następujących grup: grupa I względem grupy V oraz grupa IV względem grupy VII i VIII.

4.2.2 Wyniki symulacji numerycznych Metodą Elementów Skończonych (MES)

W badaniach laboratoryjnych metodą MES uzyskano następujące wyniki naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej Hubera-Misesa-Hencky'ego (δ_{HMH}) oraz odkształceń głównych (ϵ_1) (Tab. XXII-XXIII, Ryc. 10-18).

W zadaniu pierwszym, w przypadku wypełnienia I klasy wg Blacka z kompozytu Filtek Z250 wykonanego metodą konwencjonalną (grupa I), maksymalna wartość naprężeń wynosiła 25,029 MPa i była zlokalizowana poza obrębem wypełnienia, na powierzchni zgryzowej, w okolicy bruzd międzyguzkowych. Maksymalna wartość odkształcenia głównego wynosiła 0,000480 i była umiejscowiona poza obrębem wypełnienia, w okolicy rogów miazgi (Ryc. 10). Natomiast w przypadku metody insertowej (grupa V) maksymalna wartość naprężeń, którą również zlokalizowano poza obrębem wypełnienia, na powierzchni zgryzowej, w okolicy bruzd

międzyguzkowych, zmniejszyła się do 24,991 MPa. Maksymalna wartość odkształcenia głównego dla tej samej lokalizacji, jak w metodzie konwencjonalnej, także uległa zmniejszeniu i wynosiła 0,000475 (Ryc. 11).

W zadaniu drugim, w przypadku wypełnienia II klasy wg Blacka z kompozytu Filtek Z250 wykonanego metodą konwencjonalną (grupa III), maksymalna wartość naprężeń wynosiła 22,410 MPa i była zlokalizowana na granicy faz zęb–wypełnienie, na powierzchni zgryzowej, w okolicy bruzd międzyguzkowych. Maksymalna wartość odkształcenia głównego wynosiła 0,00100 i była umiejscowiona na granicy faz zęb–wypełnienie, na powierzchni zgryzowej, w okolicy szczytów guzków (Ryc. 12). Natomiast w przypadku metody insertowej (grupa VII) maksymalna wartość naprężeń zmniejszyła się do 22,377 MPa, a maksymalna wartość odkształcenia głównego wzrosła do 0,00126 (Ryc. 13). W grupie tej lokalizacja δ_{HMH} oraz ϵ_1 była analogiczna jak w metodzie konwencjonalnej.

W zadaniu trzecim - I klasa wg Blacka, kompozyt Gradia, metoda konwencjonalna (grupa II) - maksymalna wartość naprężeń wynosiła 25,016 MPa i była zlokalizowana na granicy faz zęb–wypełnienie, na powierzchni zgryzowej, w okolicy bruzd międzyguzkowych. Maksymalna wartość odkształcenia głównego wynosiła 0,000479 i była umiejscowiona na granicy faz zęb–wypełnienie, w głębi ubytku, w okolicy bruzd międzyguzkowych (Ryc. 14). Natomiast w przypadku metody insertowej (grupa VI) maksymalna wartość naprężeń zmniejszyła się do 24,960 MPa i była zlokalizowana na granicy faz zęb–wypełnienie, na powierzchni zgryzowej, w okolicy bruzd międzyguzkowych. Maksymalna wartość odkształcenia głównego dla tej samej lokalizacji, jak w metodzie konwencjonalnej, również uległa zmniejszeniu i wynosiła

0,000471 (Ryc. 15).

W zadaniu czwartym - II klasa wg Blacka, kompozyt Gradia, metoda konwencjonalna (grupa IV) - maksymalna wartość naprężeń wynosiła 22,378 MPa i była zlokalizowana na granicy faz zęb-wypełnienie, na powierzchni zgryzowej, w okolicy bruzd międzyguzkowych. Maksymalna wartość odkształcenia głównego wynosiła 0,00130 i była umiejscowiona na granicy faz zęb-wypełnienie, na powierzchni zgryzowej, w okolicy szczytów guzków (Ryc. 16). Natomiast w przypadku metody insertowej (grupa VIII) maksymalna wartość naprężeń zmniejszyła się do 22,345 MPa, a maksymalna wartość odkształcenia głównego wzrosła do 0,00157 (Ryc. 17). W grupie tej lokalizacja δ_{HMH} oraz ϵ_1 była analogiczna jak w metodzie konwencjonalnej.

W zadaniu piątym - kontrola, zdrowe zęby (grupa IX) - maksymalna wartość naprężeń wynosiła 9,431 MPa i była zlokalizowana w okolicy szyjki zęba. Maksymalna wartość odkształcenia głównego wynosiła 0,00252 i była umiejscowiona w okolicy rogów miazgi (Ryc. 18).

5. Dyskusja

Obecnie jednym z najważniejszych celów do osiągnięcia w estetycznej stomatologii adhezyjnej jest wydłużenie czasu utrzymania wypełnień kompozytowych w jamie ustnej oraz polepszenie ich jakości [26]. Osiągnięcie tego celu jest możliwe przez ograniczenie, a docelowo całkowitą eliminację, skurczu polimeryzacyjnego i związanego z nim mikroprzecieku brzeżnego. Nieszczelność wypełnień z materiałów złożonych prowadzi do rozwoju próchnicy wtórnej. Przy każdej kolejnej wymianie wypełnienia na nowe, dochodzi do powiększenia objętości ubytku i zwiększenia utraty naturalnych tkanek zęba.

W przedstawianej pracy uzyskano 94% odsetek wypełnień akceptowalnych klinicznie po 24 miesiącach obserwacji. W zależności od zastosowanej metody wypełniania – z insertami lub bez - uzyskano odpowiednio: 97,66% oraz 90,97% (różnica istotna statystycznie, $p = 0,001$). Wyniki te są zgodne z badaniami Lutza i Leutharda, którzy po 4 latach obserwacji stwierdzili, że 95% wypełnień z insertami typu Beta-Quartz było akceptowalnych klinicznie [45]. Porównując odsetek kompozytowych wypełnień w odcinku bocznym, akceptowalnych klinicznie po okresie 12 oraz 24 miesięcy (niezależnie od metody wykonania) z danymi z literatury można stwierdzić, że wartości te są zbliżone do wyników osiągniętych przez innych autorów: 1) po 12 miesiącach 95,4% w prezentowanej pracy oraz 92,4% wg Gumkowskiej i wsp. [64], 97,4% wg Dąbał i wsp. [65] i 99,67% wg Postek-Stefańskiej i wsp. [66]; 2) po 24 miesiącach 94% w obecnej pracy oraz 93,51% w badaniach Nowickiej [67], 98% wg Ruszyńskiej i wsp. [68] i 98,5% wg Wagnera i wsp. [69].

Na 17 przypadków niepowodzeń, 14 (82,35%) było spowodowanych rozszczelnieniem wypełnienia, nie satysfakcjonującą adaptacją brzeżną, próchnicą wtórną, przebarwieniem brzeżnym oraz nadwrażliwością na bodźce zewnętrzne w przypadku zębów z żywą miazgą. W 3 (17,65%) przypadkach stwierdzono pęknięcie lub ukruszenie fragmentu wypełnienia. W czasie 24 miesięcznego okresu obserwacji nie stwierdzono całkowitej utraty wypełnienia oraz zapalenia miazgi w przypadku zębów z żywą miazgą. Wyniki te są zgodne z danymi uzyskanymi przez innych autorów. Najczęstszymi przyczynami nieakceptowalnych ocen wypełnień kompozytowych opisywanymi w literaturze są: brak szczelności brzeżnej, zła adaptacja brzeżna, ukruszenia lub wypadnięcia wypełnienia oraz próchnica wtórna [64 - 69].

Rezultaty osiągnięte w niniejszej pracy są lepsze w porównaniu z innymi badaniami, w których wykorzystywano inserty szklano-ceramiczne, a nie kompozytowe – np. Sjogren i wsp. donoszą o 69% wypełnień akceptowalnych po okresie 3 lat [70]. Można wytłumaczyć to wyższą wytrzymałością połączenia na granicy faz insert kompozytowy-kompozyt niż insert szklano-ceramiczny-kompozyt. Wynika to z budowy chemicznej oraz sposobu połączenia tych dwóch struktur z wypełnieniem kompozytowym. Inserty stosowane w przedstawianych badaniach były wykonywane *ex tempore*, tuż przed aplikacją do ubytku. Utwardzania dokonywano za pomocą zwykłej stomatologicznej, halogenowej lampy polimeryzacyjnej, pod ciśnieniem atmosferycznym i w temperaturze pokojowej (około 20°C). Według Craiga i Powersa, dzięki takiemu sposobowi polimeryzacji na powierzchni każdego insertu tworzy się warstwa inhibicji tlenowej [71]. Nie pozwala ona, przez okres paru godzin (w zależności od warunków zewnętrznych), na całkowitą polimeryzację i związanie wszystkich wolnych rodników [72, 73]. W obszarze tym, po utwardzeniu samego

insertu, nadal znajdują się wolne monomery metakrylanumetylu, które po umieszczeniu w paście kompozytowej właściwego wypełnienia i ponownej polimeryzacji (tym razem bez dostępu tlenu – dookoła insertu żywica kompozytowa), reagują z monomerami materiału złożonego. Dzięki takiej procedurze klinicznej połączenie między granulkami a pozostałą częścią kompozytu jest jednorodne. Zostało to potwierdzone w wcześniejszych badaniach w SEM przełamanych próbek po trójpunktowym teście zginania [60]. Nie stwierdzono wtedy występowania obszarów nieciągłych na granicy insert-kompozyt .

Po 24 miesięcznym okresie obserwacji, w przypadku obu badanych kompozytów (Filtek Z250 oraz Gradia), wypełnienia wykonane metodą insertową charakteryzowały się wyższą jakością ocen klinicznych, w odniesieniu do wszystkich 5 cech skali USPHS w porównaniu z wypełnieniami założonymi metodą konwencjonalną (wyniki istotne statystycznie – $p = 0,001$). Na podstawie tych wyników można stwierdzić, że rodzaj kompozytu nie miał wpływu na polepszenie jakości oraz trwałości wypełnień wykonanych techniką insertową ($p = 0,32$). Wniosek ten ma duże znaczenie praktyczne, gdyż lekarz stosujący metodę insertową może oczekiwać lepszych rezultatów klinicznych niezależnie od rodzaju materiału złożonego jakim dysponuje w gabinecie.

Rezultaty prezentowanych badań klinicznych są potwierdzeniem dotychczas przeprowadzonych badań laboratoryjnych szczelności brzeżnej wypełnień z dodatkiem insertów kompozytowych, w których wykorzystano 5 różnych materiałów złożonych: Valux Plus (3MESPE), Pertac II (ESPE), Filtek Z250 (3MESPE) Charisma (Heraeus Kulzer) oraz Gradia (GC). We wszystkich przypadkach osiągnięto istotną statystycznie redukcję skurczu polimeryzacyjnego po zastosowaniu maksymalnej ilości insertów w

każdej, osobno utwardzanej, warstwie [55 - 60].

Na podstawie przeprowadzonych badań klinicznych można stwierdzić, że lepsze rezultaty po 24 miesiącach obserwacji zostały uzyskane dla kompozytu Gradia – niezależnie od klasy ubytku oraz metody wypełniania (wyniki istotne statystycznie $p = 0,001$). Prawdopodobną przyczyną różnicy w stosunku do kompozytu Filtek Z250 jest wielkość skurczu polimeryzacyjnego. Materiał złożony Filtek Z250 należy do starszej generacji kompozytów mikrohybrydowych o skurczu wynoszącym 2,4%, podczas gdy Gradia to materiał nowej generacji z dodanym prepolimeryzowanym wypełniaczem, dzięki któremu osiągnięto redukcję skurczu polimeryzacyjnego do wartości 1,2%. Wyniki te potwierdzają tezę o decydującym znaczeniu wartości skurczu polimeryzacyjnego dla jakości i trwałości wypełnienia [19 - 23].

Odnotowano istotne różnice w jakości wypełnień I oraz II klasy wg Blacka w obrębie danej metody. Lepszą jakością charakteryzowały się wypełnienia II klasy, zarówno w metodzie konwencjonalnej, jak i insertowej ($p = 0,001$). Prawdopodobną przyczyną uzyskania takich wyników jest różna wartość współczynników polimeryzacji C dla obu klas. W klasie I współczynnik C wynosi 5 (5 podzielone przez 1), natomiast w klasie II MO lub OD $C = 2,5$ a w klasie II MOD $C = 1,7$ (odpowiednio: 5 dzielone przez 2 lub 3). Wartość C determinuje wielkość naprężeń generowanych podczas skurczu polimeryzacyjnego w ubytku. Im wyższa wartość, tym większe naprężenia, a tym samym większe prawdopodobieństwo wystąpienia nieszczelności brzeżnej oraz mikroprzecieku. Najmniejsze siły występują w ubytkach MOD, gdyż tam podczas utwardzania są 3 - wolne od systemu łączącego - powierzchnie, które mogą przez tzw. płynięcie częściowo kompensować skurcz polimeryzacyjny materiału. Osiągnięte

wyniki są zgodne z wynikami badań El-Badrawego i wsp., którzy stwierdzili lepszą adaptację brzeżną wypełnień II klasy z insertami [47]. Analogiczne rezultaty, także po 2 latach obserwacji, osiągnął Losce badając adaptację brzeżną w SEM wypełnień II klasy z insertami oraz bez [45].

Istotne statystycznie różnice odnotowano w częstości występowania subiektywnych dolegliwości bólowych zgłaszanych przez pacjentów (w odniesieniu do zębów z żywą miazgą) pomiędzy grupą III i VIII (dokładny test Fishera – $p = 0,035$). Zęby z wypełnieniami II klasy wg Blacka wykonanymi metodą konwencjonalną z zastosowaniem kompozytu Filtek Z250 (grupa III) – charakteryzowały się znacznie częściej występującą nadwrażliwością pozabiegową (30,83%) w stosunku do wypełnień II klasy z insertami z kompozytu Gradia (grupa VIII) (0%). Wyniki te były zgodne z oczekiwaniami, gdyż na podstawie wcześniej przeprowadzonych badań laboratoryjnych wykazano wyższy stopień szczelności brzeżnej wypełnień insertowych [55 - 60]. Podobne rezultaty zostały osiągnięte w pracy klinicznej Odmana i wsp. – po 18 miesięcznym okresie obserwacji nie stwierdzili oni przypadków występowania dolegliwości bólowych w zębach z wypełnieniami z dodatkiem insertów szklano-ceramicznych [74]. Wyniki prezentowanej pracy oraz dane pochodzące z literatury przedmiotu potwierdzają prawdziwość tezy o krytycznym wpływie szczelności brzeżnej, a nie jak wcześniej sądzono cytotoksyczności materiałów złożonych, na występowanie nadwrażliwości pozabiegowej.

Nie zaobserwowano istotnych różnic w jakości wypełnień konwencjonalnych lub insertowych w odniesieniu do rodzaju zęba (przedtrzonowy lub trzonowy), głębokości ubytku oraz żywotności miazgi zęba. Wyniki te były tylko częściowo

zgodne z badaniami Raskina i wsp., Żarowa i Krupińskiego oraz Unemoriego i wsp., którzy w badaniach *in vivo* stwierdzili, że stan żywotności miazgi zęba nie miał znaczącego wpływu na jakość kompozytowych wypełnień pośrednich oraz bezpośrednich. Istotny statystycznie wpływ na ocenę wypełnienia, według wyżej cytowanych autorów, miał rodzaj zęba (przedtrzonowy lub trzonowy) oraz głębokość ubytku [75 - 77].

Wyniki prezentowanych badań klinicznych są w większości przypadków zgodne z rezultatami osiągniętymi we wcześniejszych badaniach laboratoryjnych oraz przez innych autorów. Według Bowena i wsp. oraz George'a i Richardsa redukcja objętości nie spolimeryzowanego kompozytu, za pomocą insertów szklano-ceramicznych, sięga 50-70%, a ilość szczelin brzeżnych powstających na skutek polimeryzacji w wypełnieniach z dodatkiem insertów jest mniejsza o 42% [54, 77]. Donly i wsp. stosowali w wypełnieniach II klasy typu MOD różne techniki rekonstrukcji z insertami oraz bez w celu zbadania naprężeń powstających podczas polimeryzacji [78]. Potwierdzili oni, że zastosowanie insertów szklano-ceramicznych wpływa pozytywnie na redukcję sił generowanych podczas skurczu polimeryzacyjnego. Lepszą jakość wypełnień insertowych (mniejszy mikroprzeciek i ilość szczelin) odnotowano także w badaniach za pomocą SEM oraz testów penetracji barwnikowej [79, 80]. Z kolei Hahn i wsp. nie wykazali istotnych różnic w jakości wypełnień insertowych oraz konwencjonalnych, a ze względu na stosunkowo bardziej skomplikowaną i czasochłonną technikę wprowadzania insertu szklano-ceramicznego zalecili stosowanie metody klasycznej [81]. Zostało to częściowo potwierdzone w badaniach Worma i Meiersa, którzy wykazali, że zanieczyszczenie insertów śliną, talkiem lub przez dotknięcie opuszką palca powoduje znaczny wzrost mikroprzecieku brzeżnego. Zalecili

oni stosowanie insertów z najwyższą uwagą a w razie zanieczyszczenia przemyć 95% etanolem [46].

W prezentowanej pracy wyższe parametry wytrzymałościowe (siła niszcząca i energia zniszczenia) otrzymano dla materiału złożonego z dodatkiem prepolimeryzowanego wypełniacza Gradia (GC) – niezależnie od klasy ubytku oraz metody wypełniania. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że w składzie tego materiału znajdują się duże cząsteczki wypełniacza wcześniej spolimeryzowane, rozdrobnione i dodane do pasty kompozytowej, wykonane w całości z kompozytu (matryca żywiczna i wypełniacz nieorganiczny). Zapewnia to wysoką twardość materiału i niski skurcz polimeryzacyjny (1,2%).

Uzyskane w prezentowanych badaniach istotnie statystycznie niższe parametry wytrzymałościowe dla kompozytu Filtek Z250 w ubytkach I klasy bez insertów kompozytowych świadczą o wysokich naprężeniach resztkowych występujących w tym materiale podczas polimeryzacji. Jest to prawdopodobnie spowodowane stosunkowo wysokim skurczem polimeryzacyjnym tego materiału – 2,4%. Dodatek insertów do Filteku Z250 zmniejszył naprężenia resztkowe w ubytkach I klasy i zwiększył parametry wytrzymałościowe – wzrosła wartość siły niszczącej oraz energii zniszczenia.

Filtek Z250 ma wyższy skurcz polimeryzacyjny niż Gradia – odpowiednio 2,4% i 1,2%. Stąd prawdopodobnie wynika wzrost siły niszczącej oraz energii zniszczenia wypełnień I klasy wg Blacka z Filteku Z250 po dodaniu insertów, a spadek tych parametrów w przypadku Gradii, gdzie redukcja skurczu polimeryzacyjnego nie ma

znaczącego wpływu na wytrzymałość wypełnienia, a ważną rolę zaczynają odgrywać koncentratory naprężeń, jakimi są inserty kompozytowe.

Mniejsze różnice w parametrach wytrzymałościowych dla ubytków klasy II, wypełnionych obiema technikami oraz materiałami, wynikają prawdopodobnie ze zmiany rozkładu naprężeń wewnątrz wypełnień podczas polimeryzacji. W ubytkach klasy II MO i OD występują 2 wolne powierzchnie, a w przypadku ubytków typu MOD 3 niezwiązane powierzchnie, które mogą częściowo kompensować napięcia podczas skurczu polimeryzacyjnego. W związku z tym, mniejsze znaczenie ma w takich wypełnieniach redukcja napięć resztkowych w warstwie adhezyjnej podczas skurczu kompozytu, a większą rolę odgrywają tutaj koncentratory naprężeń, jakimi są inserty – zwłaszcza w odniesieniu do kompozytu Gradia, który jest materiałem sztywniejszym niż Filtek Z250.

Wyniki badań wytrzymałościowych II klasy ubytków nie są zgodne z obserwacjami klinicznymi. W trakcie dwuletniego okresu badawczego stwierdzono istotnie statystycznie lepszą jakość wypełnień II klasy niż I, niezależnie od zastosowanego materiału oraz metody wykonania wypełnienia. Brak pełnej zgodności wyników prac laboratoryjnych i klinicznych dotyczących tego samego zagadnienia jest często spotykany w literaturze. Wiarygodną oraz ogólnie zaakceptowaną metodą weryfikacji efektywności danej techniki rekonstrukcji zębów są co najmniej dwuletnie badania kliniczne [64 - 69]. W symulacji *in vitro* nie można w pełni odtworzyć warunków panujących w jamie ustnej pacjenta. Pomimo powszechnego stosowania termocykli oraz - przez niektórych autorów - symulacji żucia i dodatniego ciśnienia hydrostatycznego w komorze miazgi, obecnie nie ma możliwości odtworzenia wszystkich skomplikowanych interakcji występujących w naturalnych warunkach.

Dlatego na podstawie analizy skuteczności metody insertowej w ubytkach II klasy można stwierdzić, że technika ta sprawdziła się klinicznie, a wyniki wcześniejszych badań laboratoryjnych potwierdziły większą skuteczność w redukcji skurczu polimeryzacyjnego. Niższe parametry mechaniczne tak wykonanych wypełnień nie mają wpływu na jakość rekonstrukcji kompozytowych w dwuletnim okresie obserwacji. Można to wyjaśnić tym, że spadek wartości siły niszczącej oraz energii zniszczenia w tych wypełnieniach nie jest na tyle duży, aby pogorszyć ich ocenę. Parametry wytrzymałościowe nadal mieszczą się w granicach zdolności kompensacyjnych układu biomechanicznego jaki stanowią pacjent i wypełnienie.

Za pomocą analizy Metodą Elementów Skończonych odnotowano zmniejszenie naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej Hubera-Misesa-Hencky'ego (δ_{HMH}) wewnątrz wypełnień i w tkankach zęba po dodaniu insertów kompozytowych - niezależnie od klasy ubytku oraz rodzaju zastosowanego materiału. Oznacza to, że wypełnienia wykonane techniką insertową pod względem rozkładu naprężeń były mniej wytężone i przez to mniej narażone na uszkodzenia. Znalazło to potwierdzenie w obserwacjach klinicznych jakości wypełnień – statystycznie więcej wypełnień było akceptowalnych po 2 latach z insertami niż bez (odpowiednio: 97,66% oraz 90,97%). Przyczyną mniejszych wartości naprężeń zredukowanych HMH w rekonstrukcjach z dodatkiem insertów kompozytowych jest mniejsza wartość skurczu polimeryzacyjnego tych wypełnień.

Podobnie jak w badaniach Kunzelmana i wsp. nie odnotowano zmiany lokalizacji naprężeń po dodaniu insertów [82]. Jest to bardzo istotne, gdyż przed przeprowadzeniem analizy MES powszechnie sądzono, że wzrost sztywności wypełnienia kompozytowego po dodaniu megawypełniacza spowoduje przemieszczenie

maksymalnych naprężeń do obszarów potencjalnie bardziej niekorzystnych dla utrzymania wypełnienia [46, 77 - 81]. W prezentowanych badaniach stwierdzono inną lokalizację maksymalnych naprężeń zredukowanych dla wypełnień I klasy wg Blacka z kompozytu Filtek Z250 (metoda konwencjonalna oraz insertowa) w stosunku do pozostałych grup. Siły były skoncentrowane poza obrębem wypełnienia, na powierzchni zgryzowej, w okolicy bruzd międzyguzkowych. Podczas gdy w pozostałych grupach wartości maksymalne naprężeń były zlokalizowane na powierzchni zgryzowej, w okolicy bruzd międzyguzkowych, ale na granicy faz zęb-wypełnienie. Obserwacje te mogą posłużyć jako wyjaśnienie różnicy w parametrach wytrzymałościowych dla ubytków I klasy wypełnionych Filtekiem Z250 oraz Gradią (obie metody: konwencjonalna i insertowa). Większa akumulacja naprężeń na granicy faz w przypadku kompozytu Gradia i ubytków I klasy prawdopodobnie była przyczyną gorszych wyników analizy wytrzymałościowej względem Filteku Z250, gdzie naprężenia maksymalne były generowane poza obrębem wypełnienia.

Analizując wartości odkształceń głównych (ϵ_1) zaobserwowano różnice pomiędzy klasami ubytków. Dla klasy I, niezależnie od zastosowanego materiału, dodatek insertów kompozytowych powodował zmniejszenie wartości odkształceń głównych, co można interpretować – analogicznie jak w badaniach Kunzelmana i wsp. – jako efekt anizotropowej charakterystyki wypełnienia [82]. Dodanie insertów do żywicy kompozytowej powoduje rozproszenie sił okluzyjnych na większy obszar powierzchni wypełnienia oraz zmniejszenie odkształceń głównych. Jest to korzystne dla wypełnienia, gdyż wartości sił potencjalnie zagrażających integralności rekonstrukcji są mniejsze. Natomiast w ubytkach klasy II, w przypadku zastosowania obu materiałów, stwierdzono wzrost odkształceń głównych, co jest sytuacją niekorzystną dla wypełnienia. Było to spowodowane prawdopodobnie efektem tzw. przeszywnienia

konstrukcji, która po dodaniu insertów stała się bardziej krucha i mniej podatna na kompensowanie działających sił. Analogicznie jak w przypadku naprężeń zredukowanych, nie zaobserwowano zmiany lokalizacji maksymalnych odkształceń głównych po dodaniu insertów oraz stwierdzono różnicę w miejscu generowania największych sił między wypełnieniami I klasy z Filteku Z250 i Gradii.

Podsumowując wyniki analizy MES można stwierdzić, że dodanie insertów kompozytowych powoduje zmniejszenie wartości naprężeń zredukowanych HMH (niezależnie od klasy ubytku i rodzaju materiału) oraz zmniejszenie odkształceń głównych w ubytkach I klasy i zwiększenie w ubytkach II klasy. Obserwacje te są zgodne z wynikami analizy wytrzymałościowej oraz częściowo potwierdzają wyniki badań klinicznych (lepszą jakość wypełnień insertowych).

6. Wnioski

1. Na podstawie wyników badań klinicznych stwierdzono lepszą jakość wypełnień wykonanych metodą insertową, niezależnie od rodzaju zastosowanego kompozytu oraz klasy ubytku (wyniki istotne statystycznie $p = 0,001$).
2. W badaniach klinicznych lepsze rezultaty uzyskano dla kompozytu Gradia - niezależnie od klasy ubytku oraz metody wypełniania. Wypełnienia te uzyskały statystycznie istotną wyższą ocenę w odniesieniu do wszystkich 6 cech skali USPHS ($p = 0,001$).
3. Nadwrażliwość pozabiegowa była statystycznie istotnie mniejsza po wypełnieniu ubytków II klasy wg Blacka kompozytem Gradia metodą insertową, w porównaniu z metodą konwencjonalną ($p = 0,035$).
4. Na ocenę jakości badanych wypełnień nie miał wpływu rodzaj zęba, głębokość ubytku oraz to, czy ząb był z żywą miazgą, czy po leczeniu endodontycznym.
5. Dodatek insertów kompozytowych spowodował zmniejszenie parametrów wytrzymałościowych (siła niszcząca i energia zniszczenia), z wyjątkiem wypełnień I klasy wg Blacka wykonanych z kompozytu Filtek Z250.
6. Wprowadzenie insertów do żywicy kompozytowej, niezależnie od rodzaju zastosowanego materiału, spowodowało zmniejszenie naprężeń zredukowanych w obu klasach wypełnień oraz zwiększenie odkształceń głównych w wypełnieniach II klasy i zmniejszenie w wypełnieniach I klasy.

7. Streszczenie

Wstęp

Materiały kompozytowe oraz adhezyjna technika łączenia z tkankami zęba są obecnie podstawą nowoczesnej stomatologii zachowawczej. Skurcz polimeryzacyjny materiałów złożonych nadal pozostaje nierozwiązanym problemem. Powstanie szczeliny pomiędzy ścianą ubytku a materiałem wypełniającym prowadzi do mikroprzecieku brzeżnego. Jedną z technik umożliwiających zmniejszenie skurczu polimeryzacyjnego jest zastosowanie insertów kompozytowych. Metoda ta ogranicza całkowitą objętość kompozytu poddawanego procesowi utwardzania, co w konsekwencji zapewnia mniejszy skurcz polimeryzacyjny i mniejszy mikroprzeciek brzeżny.

Cel pracy

Celem pracy była ocena – w warunkach klinicznych oraz laboratoryjnych – jakości wypełnień z materiałów złożonych wykonanych metodą konwencjonalną oraz insertową.

Material i metody

Badania kliniczne: wykonano 295 wypełnień kompozytowych I i II klasy u 117 pacjentów. Ubytki opracowano według zasad preparacji pod materiały adhezyjne. Zastosowano dwa materiały złożone: klasyczny kompozyt mikrohybrydowy Filtek Z250 (3MESPE) oraz kompozyt z domieszką prepolimeryzowanego wypełniacza Gradia (GC). Wypełnienia wykonano metodą konwencjonalną lub insertową. W obu metodach zastosowano system łączący V generacji Single Bond (3MESPE), ściśle

według zaleceń producenta. Wypełnienia oceniano za pomocą skali USPHS zmodyfikowanej wg van Dijkena.

Badania laboratoryjne - analiza wytrzymałościowa: badania przeprowadzono na 90 zdrowych ludzkich zębach trzonowych. Wykonano metodą konwencjonalną i insertową wypełnienia z kompozytu Filtek Z250 oraz Gradia I i II klasy, analogicznie jak w badaniach klinicznych – 8 grup badawczych po 10 próbek oraz 1 grupa kontrolna (zdrowe zęby). Po 24 godzinach wykonano w środowisku wodnym 2000 termocykli. Pomiaru siły niszczącej oraz energii zniszczenia dokonano w urządzeniu Instron 4465.

Symulacje numeryczne Metodą Elementów Skończonych: modele numeryczne zbudowano w programie CAD-FEMAP. Wykonano 8 modeli wypełnień w pierwszym, górnym zębie trzonowym w zwarciu prawidłowym, odpowiadających 8 grupom badawczym. Przeprowadzono analizę rozkładu naprężeń zredukowanych według hipotezy wytrzymałościowej Hubera-Misesa-Hencky'ego oraz odkształceń głównych.

Wyniki

Odsetek wypełnień klinicznie akceptowalnych w całym okresie badawczym - niezależnie od zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania - wyniósł 95,4% po 12 miesiącach oraz 94% po 24 miesiącach. W zależności od zastosowanej metody wypełniania – z insertami lub bez - uzyskano odpowiednio: 97,66% oraz 90,97% powodzeń ($p = 0,001$). Odnotowano 17 niepowodzeń (6%). Nie stwierdzono całkowitej utraty wypełnienia oraz zapalenia miazgi w przypadku zębów z żywą miazgą. Odnotowano statystycznie istotną wyższą jakość wypełnień wykonanych techniką insertową względem metody konwencjonalnej, niezależnie od rodzaju zastosowanego kompozytu oraz klasy ubytku. Nadwrażliwość pozabiegowa była statystycznie istotnie mniejsza po wypełnieniu ubytków II klasy kompozytem Gradia

metodą insertową w porównaniu z metodą konwencjonalną ($p = 0,035$). Na ocenę jakości badanych wypełnień nie miał wpływu rodzaj zęba, głębokość ubytku oraz to, czy ząb był z żywą miazgą, czy po leczeniu endodontycznym. Dodatek insertów kompozytowych spowodował zmniejszenie parametrów wytrzymałościowych z wyjątkiem wypełnień I klasy wykonanych z kompozytu Filtek Z250. Wprowadzenie insertów do żywicy kompozytowej, niezależnie od rodzaju zastosowanego materiału, spowodowało zmniejszenie naprężeń zredukowanych w obu klasach wypełnień oraz zwiększenie odkształceń głównych w wypełnieniach II klasy i zmniejszenie w wypełnieniach I klasy.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań klinicznych, po 24 miesięcznym okresie obserwacji, stwierdzono wyższą jakość wypełnień wykonanych metodą insertową w porównaniu z wypełnieniami założonymi metodą konwencjonalną ($p = 0,001$). Niższe parametry mechaniczne wypełnień z insertami nie miały wpływu na jakość rekonstrukcji kompozytowych w dwuletnim okresie obserwacji. Wyniki analizy MES były zgodne z wynikami badań wytrzymałościowych oraz częściowo potwierdzały obserwacje kliniczne (wyższa jakość wypełnień insertowych).

8. Summary

Introduction

Resin composite materials and dental adhesive systems are regarded today as the basis of a modern conservative dentistry. A problem which still remains unsolved is the polymerization shrinkage of composite materials. Inadequate seal between the tooth structure and the filling material leads to marginal microleakage. One of the techniques which reduce the polymerization shrinkage is the use of composite inserts. This method reduces the total quantity of resin to be cured and thus results in less polymerization shrinkage and limited marginal microleakage.

Aim of the study

The goal of this study was to assess the quality of fillings made of composite materials applied either with the conventional or the inserting method under both clinical and laboratory conditions.

Material and methods

Clinical examination: 295 filling with composite materials were made in class I and II defects in 117 patients. The defects were prepared applying protocols used for adhesive systems. As filling material two composite materials were used: classical microhybrid composite Filtek Z250 (3MESPE) and composite with the addition of pre-polymerized filler Gradia (GC). The fillings were made either with the conventional or with the inserting method. In both methods the V-generation adhesive system Single Bond (3MESPE) was applied strictly according to manufacturer's instruction. The fillings were assessed using the USPHS scale with modification according to van

Dijken.

In vitro examination - strength analysis: the examination was performed on 90 healthy human molars. The fillings were made in class I and II defects with the same protocol as in the clinical study with composite Filtek Z250 and Gradia, either with the conventional or with the inserting method – 8 test groups of 10 samples and 1 control group (healthy teeth). After 24 hours the samples were exposed to 2000 thermocycles in water medium. The measurement of the destroying force and of the destroying energy was performed using the Instron 4465 devise. **Numerical simulations with the Finite Elements Method:** the numerical models were made using the CAD-FEMAP programme. The model comprised 8 different kinds of fillings in the first upper molar in normal occlusion each corresponding to one of the 8 study groups. Analysis of reduced stress distribution according to the strength hypothesis of Huber-Mises-Hencky and of main deformations was performed.

Results

The percentage of clinically accepted fillings throughout the entire study period, irrespectively of materials used, class of defect or filling method, was 95,4% after 12 months and 94% after 24 months. Depending on the filling method – with or without inserts – the results were 97,66% and 90,97% respectively (statistically significant difference, $p = 0,001$). 17 failures were observed (6%). Neither total loss of fillings nor pulpitis in teeth with vital pulp were observed. The quality of fillings made with the inserting method was significantly higher compared to the conventional one, irrespectively of materials used or class of defect. The post-treatment sensitivity was significantly lower when the fillings in class II defects were made with the Gradia composite and inserting method, compared to the conventional method ($p = 0,035$). The

type of tooth, depth of defect, pulp vitality or endodontic treatment did not influence the quality of assessed fillings. Addition of pre-polymerized composite inserts resulted in the reduction of strength parameters, except for class I fillings made with Filtek Z250. Adding inserts to the composite resin, irrespectively of materials used, resulted in the decrease of reduced stresses in both classes of fillings, in the increase of main deformations in class II fillings and in the decrease of main deformations in class I fillings.

Conclusions

Based on the conducted clinical study with the observation period of 24 months it can be concluded that the quality of fillings made with the inserting method was superior to fillings made with the conventional method. The lower values of mechanical parameters of the fillings with inserts did not influence the quality of composite restorations in the two-year-observation period. The results of FEM-analysis were coherent with the results of stress examinations and confirmed partly the clinical observations – better quality of insert fillings.

9. Piśmiennictwo

1. Yap A, Shah K, Chew C. Marginal gap formation of composites in dentine: effect of water storage. *J Oral Rehabil* 2003; 30: 236-242.
2. Kugel G. Direct and indirect adhesive restorative materials: a review. *Am J Dent* 2000; 13: 35-40.
3. Gończowski K, Krupiński J, Kustra P, Rabczak W. Szczelność brzeżna wypełnień z kompozytu Filtek Z250 (3MESPE) zakładanych z zastosowaniem różnych systemów łączących – badania laboratoryjne. *Poradnik Stomatologiczny* 2004; 2: 12-20.
4. Gończowski K, Krupiński J. Adaptacja brzeżna wypełnień wykonanych metodą kanapki konwencjonalnej oraz uproszczonej z zastosowaniem glassionomerowego systemu łączącego Fuji Bond LC (GC) – badania laboratoryjne. *Stomat Współcz* 2003; Suplement 2: 13-19.
5. Guggenberger R, Weinmann W. Exploring beyond methacrylates. *Am J Dent* 2000, 13: 82-84.
6. Cassin A, Pearson G. Microleakage studies comparing a one visit indirect composite inlay system and a direct composite restorative technique. *J Oral Rehabil* 1992; 19: 265-270.
7. Shortall A, Baylis R. Microleakage around direct composite inlays. *J Dent* 1991; 19: 307-311.
8. Pioch T, Stotz S, Buff E, Duschner H, Staehle H. Influence of different etching times on hybrid layer formation and tensile bond strength. *Am J Dent* 1998; 11: 202-206.
9. Uno S, Finger W. Działanie strefy hybrydowej jako warstwy absorbującej

- napięcie pomiędzy wiązaniem żywica-zębina. Quintessence 1997; 6: 375-380.
10. Sakaguchi R, Peters M, Nelson S, Douglas W, Poort H. Effects of polymerization contraction in composite restorations. J Dent 1992; 20: 178-182.
 11. Dietschi D, Magne P, Holz J. Badania in vitro szczelności brzeżnej i wewnętrznej wypełnień kompozytowych. Quintessence 1995; 2: 105-115.
 12. Kidd E. Microleakage: a review. J Dent Res 1976; 4: 199-205.
 13. Schmidseider J. Stomatologia estetyczna. Wydawnictwo Czelej Sp. z o. o., Lublin, Polska 2003.
 14. Suliborski S, Sokołowski J. Adhezja materiałów kompozycyjnych do szkliwa. Mag Stomat 1998; 4: 13-19.
 15. Suliborski S, Sokołowski J, Górecka W. Zjawisko adhezji. Mag Stomat 1998; 2: 14-17.
 16. Dauvillier B, Feilzer A, Gee A, Davidson C. Visco-elastic parameters of dental restorative materials during setting. J Dent Res 2000; 3: 818-823.
 17. Yoshikawa T, Burrow M, Tagami J. A light curing method for improving marginal sealing and cavity wall adaptation of resin composite restorations. Dent Mater 2001; 17: 359-366.
 18. Ferdianakis K. Microleakage reduction from newer esthetic restorative materials in permanent molars. J Clin Pediatr Dent 1998; 3: 221-229.
 19. Coli P, Brannstrom M. Adaptacja brzeżna czterech różnych środków wiążących w wypełnieniach kompozytowych ubytków klasy II, nakładanych jednorazowo oraz w dwóch warstwach. Quintessence 1995; 6: 363-370.
 20. Ferrari M, Bertelli E, Finger W. Pięcioletni raport o zębinowo-szkliwnym czynniku wiążącym i kompozycie z mikrowypełniaczem. Quintessence 1996; 2: 105-110.

21. Gajdzik-Plutecka D, Wal A. Wstępne doniesienia z obserwacji adaptacji brzeżnej wypełnień kompozytowych na podstawie badań klinicznych i mikroskopowych. *Stomat Współcz* 1997; 2: 107-112.
22. Gajdzik-Plutecka D, Gordon A, Janicha J. Badanie przylegania brzeżnego wypełnień kompozytowych metodą replik w elektronowym mikroskopie skaningowym. *Czas Stomat* 1996; 7: 474-480.
23. Yap A, Lim C, Neo J. Szczelność brzeżna wypełnień ubytków przyszyjkowych. *Quintessence* 1998; 1: 51-55.
24. Armstrong S, Keller J, Boyer D. The influence of water storage and C-factor on dentin-resin composite microtensile bond strength and debond pathway utilizing a filled and unfilled adhesive resin. *Dent Mater* 2002; 17: 268-276.
25. Hickel R, Manhart J, Garcia-Godoy F. Clinical results and new developments of direct posteriori restorations. *Am J Dent* 2000; 11: 41-54.
26. Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue S, Yoshida Y, Perdigao J, Lambrechts P, Venherle G. Microscopy investigations. Techniques, results, limitations. *Am J Dent* 2000; 13: 3-18.
27. Taylor M, Lynch E. Microleakage. *J Dent* 1992; 20: 3-10.
28. Spencer P, Wang Y, Walker M, Wieliczka D, Swafford J. Interfacial chemistry of the dentin/adhesive bond. *J Dent Res* 2000; 7: 1458-1463.
29. Szenowski H, Kupka T, Twardawa H, Skaba D, Kruczkowski M. Szczelność globalna – brzeżna i międzywarstwowa rekonstrukcji zębowych – przegląd metod badawczych. *Nowa Stomat* 1999; 3: 8-11.
30. Alani A, Toh C. Detection of microleakage around dental restorations: a review. *Oper Dent* 1997; 22:173-185.
31. Nakabayashi N, Pashley D. Hybridization of dental hard tissues. *Quintessence*

- Publ. Co. Ltd. Tokyo, Japan 1998.
32. Roulet J, Degrange M. Adhesion the silent revolution in dentistry. Quintessence Publ. Co. Inc. Illinois, USA 2000.
 33. Gee A, Feilzer A, Davidson C. True linear polymerization shrinkage of unfilled resins and composites determined with a linometer. *Dent Mater* 1993; 01: 11-14.
 34. Feilzer A, Dooren L, Gee A, Davidson C. Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface. *Eur J Oral Sci* 1995; 103: 322-326.
 35. Opdam N, Roeters F, Verdonschot E. Adaptation and radiographic evaluation of four adhesive systems. *J Dent* 1997; 5: 391-397.
 36. Kochańska B, Wąsek A, Kręglewska B. Współczesne poglądy dotyczące problemów związanych z wytrawianiem zębiny. *Czas Stomat* 1997; 10: 663-668.
 37. Stopa J, Matthews-Brzozowska T. Ocena ultrastrukturalna połączenia wypełnień z różnych materiałów kompozycyjnych z tkankami zęba. *Czas Stomat* 1995; 10: 637-643.
 38. Swift E, Le Valley B. Mikroprzeciek wypełnień kompozytowych założonych po wytrawieniu zębiny. *Quintessence* 1994; 2: 111-114.
 39. Dietschi D, Spreafico R. Aktualne koncepcje odbudowy zębów bocznych. *Quintessence* 1998; 2: 95-104.
 40. Alster D, Feilzer A, Gee A, Davidson C. Polymerization contraction stress in thin resin composite layers as a function of layer thickness. *Dent Mater* 1997; May: 146-150.
 41. Alster D, Feilzer A, Gee A, Mol A, Davidson C. The dependence of shrinkage stress reduction on porosity concentration in thin resin layers. *J Dent Res* 1992;

- 09: 1619-1622.
42. Althoff O, Hartung M. Advances in light curing. *Am J Dent* 2000; 11: 77-81.
 43. Feilzer A, Gee A, Davidson C. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater* 1990; 07: 167-171.
 44. Venhoven B, Gee A, Davidson C. Light initiation of dental resins: dynamics of the polymerization. *Biomaterials* 1996; 17:2313-2318.
 45. Federlin M, Thonemann B, Schmalz G. Inserts – megafillers in composite restorations: a literature review. *Clin Oral Invest* 2000; 4: 1-8.
 46. Worm D, Meiers J. Effect of various types of contamination on microleakage between beta-quartz inserts and resin composite. *Quintessence Int* 1996; 4: 271-277.
 47. El-Badrawy W, Leung B, El-Mowafy O, Rubo J, Rubo M. Evaluation of proximal contacts of posterior composite restorations with 4 placement techniques. *J Can Dent Assoc* 2003; 3: 162-167.
 48. Briseno B, Claus-Peter E, Willershausen-Zonnchen B. Wzrost temperatury miazgi podczas wykańczania i polerowania wypełnień z materiałów kompozytowych: badania in vitro. *Quintessence* 1997; 2: 113-117.
 49. Reid S, Saunders W, Chen S. Wpływ czynnika wiążącego i uszczelniacza bruzd na mikroprzeciek wypełnień kompozytowych. *Quintessence* 1994; 3: 175-178.
 50. Summitt J, Bona D, Burgess J. Wytrzymałość wypełnień kompozytowych klasy II jako pochodna sposobu opracowania ubytku. *Quintessence* 1995; 9:633-639.
 51. Tanasiewicz M, Żak J, Kupka T, Kołodziej M, Szenowski H, Feodorów W. Ocena adaptacji brzeżnej oraz stanu powierzchni okolicy połączenia szkliwno-materiałowego w mikroskopii optycznej i AFM (Atomic Force Microscopy). *Stomat Współcz* 2000; 3: 29-33.

52. Applequist E, Meiers J. Effect of bulk insertion, prepolymerized resin composite balls, and beta-quartz inserts on microleakage of class V resin composite restorations. *Quintessence Int* 1996; 4: 253-258.
53. Yoshikawa T, Burrow M, Tagami J, Sichmiller F, Marjeenhoff W. Glass-ceramic inserts anticipated for 'megafilled' composite restorations. *Research moves into the office. JADA* 1991; 3: 71-75.
54. Bowen R, Eichmiller F, Marjenchoff W. Glass-ceramic inserts anticipated for „megafilled” composite restorations. *Research moves into office. JADA* 1991; 122: 71-75.
55. Krupiński J, Krupińska A, Słowik J. Inserty – nowa metoda wypełniania ubytków kompozytami. *Stomat Współcz* 1999; 4: 20-23.
56. Krupiński J, Żarow M, Gończowski K, Dyląg M. Laboratoryjna ocena szczelności brzeżnej wypełnień z materiałów złożonych wykonanych metodą konwencjonalną i zmodyfikowaną. *Stomat Współcz* 1999; 3: 51-56.
57. Krupiński J, Dyląg M, Gończowski K, Słowik J. Ocena szczelności brzeżnej wypełnień z kompozytu Valux Plus (3M) – wykonanych metodą konwencjonalną oraz CIMM (Composite Insert Microfill Method). *Badania laboratoryjne. Quintessence* 2000; 6: 367-374.
58. Krupiński J, Gończowski K, Dyląg M, Słowik J. Szczelność brzeżna wypełnień z materiału złożonego Pertac II (ESPE) zakładanych in vitro metodą konwencjonalną oraz zmodyfikowaną z użyciem insertów. *Czas Stomat* 2002; 2: 83-88.
59. Gończowski K, Krupiński J. Analiza porównawcza szczelności brzeżnej wypełnień z materiałów złożonych Charisma (Heraeus Kulzer) i Gradia (GC) wykonanych technika konwencjonalną oraz metodą zmodyfikowaną z

- zastosowaniem insertów – badania laboratoryjne. *Stomat Współcz* 2002; 5: 63-70.
60. Gończowski K, Krupiński J. Analysis of the mechanical properties of two composites with and without the composite inserts. Joint Meeting of Pan European Federation, Cardif, Walia 2002; abstract nr. 390.
61. Van Dijken J. A clinical evaluation of anterior conventional, microfiller and hybrid composite resin fillings. A six year follow up study. *Acta Odontol Scand.* 1986 12: 357-367.
62. Craig R, Peyton F. Elastic and mechanical properties of human dentin. *J Dent Res* 1958; 4: 710-718.
63. Tronstad L. *Clinical Endodontics*. Georg Thiem Verlag, Stuttgart, Germany 1991.
64. Gumkowska M, Szumska B, Kulty A, Janka N, Olejniczak M, Kaczyńska B. Roczne kliniczne obserwacje wypełnień wykonanych z materiału złożonego Tetric firmy Vivadent. *Czas Stomat* 1996; 11: 745-749.
65. Dąbal I, Jodłowska A, Borkowski L, Wiśniewska J. Kliniczna ocena wypełnień wykonanych z materiału Solitaire i Amalcap Plus po rocznym okresie obserwacji. *Stomat Współcz* 2001; 4: 34-37.
66. Postek-Stefańska L, Bojda D, Ślimak O. 12-miesięczna kliniczna ocena wypełnień z materiału mikrohybrydowego Arabesk z użyciem czynnika wiążącego Solobond M. *Stomat Współcz* 2002; 6: 46-50.
67. Nowicka A. Porównawcze badania kliniczne dwu różnych systemów łączących kompozyt z tkankami zęba. *Mag Stomat* 2001; 3: 10-16.
68. Ruszyńska H, Stopa J, Matthews-Brzozowska T, Kurhańska-Flisykowska A, Orkiszewska M. Dwuletnie obserwacje kliniczne wypełnień z materiału

- kompozycyjnego Tetric. *Stomat Współcz* 1996; 1: 52-54.
69. Wagner L, Trykowski J, Miazek-Wagner M. Kliniczna ocena materiału złożonego Alert po dwóch latach obserwacji - doniesienie wstępne. *Stomat Współcz* 2000; 1: 19-20.
70. Sjogren G, Hedlund S, Jonsson C, Sandstrom A. A 3-year follow-up study of preformed beta-quartz glass-ceramic insert restorations. *Quintessence Int* 2000; 31: 25-31.
71. Craig R, Powers J. *Restorative dental materials*. 11-th edition, Mosby Inc., St. Louis, Missouri, USA 2002.
72. Finger W, Lee K, Podszun W. Monomers with low oxygen inhibition as enamel/dentin adhesives, *Dent Mater* 1996; Jul; 12 (4): 256-261.
73. Rueggeberg F, Margeson D. The effect of inhibition on an unfilled/filled composite system. *J Dent Res* 1990; Oct (69): 1652-1658.
74. Odman P, Nilsson E, Pietruszka K. Cerana – a new method for the restoration of teeth with prefabricated ceramic inlays. *J Oral Rehabil* 1998; 25:340-347.
75. Raskin A, Michotte-Theall B, Vreven J, Wilson N. Clinical evaluation of posterior composite 10-year report. *J Dent* 1999; 27: 13-19.
76. Żarow M, Krupiński J. Pośrednie wypełnienia kompozytowe w przypadku znacznego zniszczenia koron zębów bocznych. *Mag Stoma* 2004; 11: 54-66.
77. George L, Richards N. Polymerization shrinkage in a composite restoration involving a glass-ceramic insert. *J Dent Res* 1993; 72: 351 (abstrakt nr 1979).
78. Donly K, Wild, Bowen R, Jensen M. An In vitro investigation of the effects of glass inserts on the effective composite resin polymerization shrinkage. *J Dent Res* 1989; 8: 1234-1237.
79. Bott B, Hanning M. Optimizing class II composite resin restorations by the use

- of ceramic inserts. *J Esthetic Dent* 1995; 7: 110-117.
80. Harada K, Caputo A, Mito R. Evaluation of microleakage of composite restorations with glass insert megafillers. *J Esthet Dent* 1997; 9:306-310.
81. Hahn P, Schaller H, Mullner U, Hellwig E. Marginal leakage in class II restorations after use of ceramic inserts luted with different materials. *J Oral Rehabil* 1998; 25: 567-574.
82. Kunzelmann K, Obermeier T, Mehl A, Hickel R. Finite element analysis of megafillers/inserts to optimize shape and material properties. *J Dent Res* 1995; 74: 187 (abstrakt nr 1402).

10. Dokumentacja

10.1 Tabele

Tabela I Zastosowane materiały i metody wykonywania wypełnień w badaniach klinicznych oraz laboratoryjnych

Numer grupy	Kompozyt	Klasa ubytku wg Blacka	Metoda
I	Filtek Z250	I klasa	Konwencjonalna bez insertów
II	Gradia		
III	Filtek Z250	II klasa	
IV	Gradia		
V	Filtek Z250	I klasa	Zmodyfikowana z insertami
VI	Gradia		
VII	Filtek Z250	II klasa	
VIII	Gradia		
IX	Grupa kontrolna bez wypełnień – tylko w badaniach laboratoryjnych		

Tabela IIa Skala USPHS zmodyfikowana przez van Dijkena służąca do oceny klinicznej badanych wypełnień – kryteria: kształt anatomiczny, adaptacja brzeżna oraz dopasowanie koloru

Kategoria	Punkty		Kryteria
	Akceptowalne	Nieakceptowalne	
Kształt anatomiczny	0		Prawidłowo zachowany kształt anatomiczny
	1		Niewielkie niedopełnienie lub przepełnienie ubytku z możliwą samokorekty wysokości zwarciowej
		2	Uszkodzone wypełnienie, widoczna zębina lub podkład, brak możliwości samokorekty wysokości zwarciowej
		3	Częściowe lub całkowite utracenie wypełnienia, możliwe pęknięcie zęba, punkt przeciążeniowy w zgryzie, ból zęba lub tkanek okolicznych
Adaptacja brzeżna	0		Brak zahaczania zgłębnika lub widocznej szczeliny
	1		Zahaczanie zgłębnika, brak widocznej szczeliny
	2		Szczelina brzeżna i odsłonięte szkliwo
		3	Wyraźna szczelina brzeżna lub odsłonięta zębina
		4	Wypełnienie pęknięte, ruchome lub utracone
Dopasowanie koloru	0		Bardzo dobre
	1		Dobre
	2		Niewielki brak dopasowania koloru, odcienia lub stopnia przezierności
		3	Wyraźny brak dopasowania koloru
		4	Bardzo duża różnica w kolorze

Tabela IIb Skala USPHS zmodyfikowana przez van Dijkena służąca do oceny klinicznej badanych wypełnień – kryteria: przebarwienie brzeżne, chropowatość powierzchni oraz próchnica wtórna

Kategoria	Punkty		Kryteria
	Akceptowalne	Nieakceptowalne	
Przebarwienie brzeżne	0		Brak przebarwienia brzeżnego
	1		Lekkie przebarwienie brzeżne, które można usunąć ponownym polerowaniem
	2		Przebarwienie brzeżne, którego nie można usunąć ponownym polerowaniem
		3	Wyraźne i trwałe przebarwienie brzeżne
Chropowatość powierzchni	0		Gładka powierzchnia
	1		Lekka chropowatość powierzchni
	2		Porowatość, której nie można usunąć ponownym polerowaniem
		3	Głęboko uszkodzona powierzchnia z nieregularnymi rowkami
Próchnica wtórna	0		Brak oznak próchnicy wtórnej dookoła wypełnienia
		1	Próchnica wtórna dookoła wypełnienia

Tabela III Dodatkowe kryteria oceny klinicznej wypełnień dotyczące subiektywnej oceny nadwrażliwości pozabiegowej przez pacjenta oraz reakcji zęba na test termiczny

Kategoria	Punkty		Kryteria
	Akceptowalne	Nieakceptowalne	
Dolegliwości bólowe po zabiegu	0		Brak
	1		Lekko odczuwalny ból, najczęściej po zadziałaniu bodźca zewnętrznego, szybko mijający
		2	Ból zęba pojawiający się po zadziałaniu bodźca zewnętrznego utrzymujący się po zaprzestaniu działania bodźca
		3	Silny ból samoistny zęba lub długo utrzymujący się silny ból po zadziałaniu bodźca zewnętrznego
Reakcja na niską temperaturę	0		Prawidłowa – ból odczuwany natychmiast po zadziałaniu bodźca termicznego, szybko mijający po zaprzestaniu działania bodźca
		1	Patologiczna – brak reakcji, znaczne obniżenie lub podwyższenie progu pobudliwości

Tabela IV Wartości modułów Younga [MPa] oraz współczynników Poissona, wykorzystanych do symulacji numerycznych, dla poszczególnych rodzajów tkanek zęba

Tkanka zęba	Moduł Younga E [MPa]	Współczynnik Poissona ν
Szkliwo	84 100	0,33
Zębina	18 600	0,31
Miazga	2,06	0,45

Tabela V Wartości modułów Younga [MPa] oraz współczynników Poissona, wykorzystanych do symulacji numerycznych, w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez

Numer grupy	Rodzaj materiału	Klasa ubytku	Metoda wypełniania	Moduł Younga E [GPa]	Współczynnik Poissona ν
I	Filtek Z250	I	Konwencjonalna	7,9	0,135
II	Gradia	I	Konwencjonalna	6,5	0,18
III	Filtek Z250	II	Konwencjonalna	7,9	0,135
IV	Gradia	II	Konwencjonalna	6,5	0,18
V	Filtek Z250	I	Insertowa	6,6	0,26
VI	Gradia	I	Insertowa	5,43	0,34
VII	Filtek Z250	II	Insertowa	6,6	0,26
VIII	Gradia	II	Insertowa	5,43	0,34

Tabela VI Ilość, odsetek oraz przyczyna kwalifikacji wypełnień nieakceptowalnych klinicznie po 24 miesiącach w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez

Numer grupy	Rodzaj materiału	Klasa ubytku	Metoda wypełniania	Przyczyna kwalifikacji wypełnienia jako nieakceptowalnego			
				Zła adaptacja brzeżna z próchnicą wtórną, przebarwieniem brzeżnym i nadwrażliwością		Pęknięcie lub ukruszenie fragmentu wypełnienia	
				n	%	n	%
I	Filtek Z250	I	Konwencjonalna	2	6,06	0	0
II	Gradia	I	Konwencjonalna	0	0	0	0
III	Filtek Z250	II	Konwencjonalna	4	11,1	4	11,1
IV	Gradia	II	Konwencjonalna	4	12,9	0	0
V	Filtek Z250	I	Insertowa	0	0	0	0
VI	Gradia	I	Insertowa	0	0	0	0
VII	Filtek Z250	II	Insertowa	2	4,35	1	2,2
VIII	Gradia	II	Insertowa	0	0	0	0
Łącznie we wszystkich grupach				12	4,24	5	1,77

Tabela VII Wyniki badania klinicznego dotyczącego kształtu anatomicznego wypełnienia w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez, podczas kolejnych wizyt kontrolnych

Badanie kontrolne	Punkty oceny		Grupa									Wartość p test χ^2 Pearsona
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Razem	
Bezpośrednio po wykonaniu	0	n	33	27	36	31	39	32	46	38	282	0,655
		%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,9	100,0	99,6	
	1	n	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
		%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,4	
Po 6 miesiącach	0	n	30	27	30	27	39	32	45	38	268	0,028
		%	90,9	100	83,3	87,1	100	100	95,7	100,0	94,7	
	1	n	3	0	5	4	0	0	2	0	14	
		%	9,1	0,0	13,9	12,9	0,0	0,0	4,3	0,0	4,9	
	2	n	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
		%	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	
Po 12 miesiącach	0	n	24	24	19	24	39	31	42	36	239	0,001
		%	72,7	88,9	52,8	77,4	100	96,9	89,4	94,7	84,5	
	1	n	8	3	15	5	0	1	3	2	37	
		%	24,2	11,1	41,7	16,1	0,0	3,1	6,4	5,3	13,1	
	2	n	1	0	2	2	0	0	2	0	7	
		%	3,0	0,0	5,6	6,5	0,0	0,0	4,3	0,0	2,5	
Po 24 miesiącach	0	n	4	8	6	7	12	15	13	22	87	0,001
		%	12,1	29,6	16,7	22,6	30,8	46,9	27,7	57,9	30,7	
	1	n	27	19	22	20	27	17	31	16	179	
		%	81,8	70,4	61,1	64,5	69,2	53,1	66	42,1	63,3	
	2	n	2	0	6	3	0	0	3	0	14	
		%	6,1	0,0	16,7	9,7	0,0	0,0	6,4	0,0	4,9	
	3	n	0	0	2	1	0	0	0	0	3	
		%	0,0	0,0	5,6	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	
Łączna ilość wypełnień w grupach	n	33	27	36	31	39	32	47	38	283	-	
	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		

Tabela VIII Wyniki badania klinicznego dotyczącego adaptacji brzeżnej wypełnienia w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez, podczas kolejnych wizyt kontrolnych

Badanie kontrolne	Punkty oceny		Grupa									Wartość p test χ^2 Pearsona
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Razem	
Bezpośrednio po wykonaniu	0	n	32	26	36	31	39	32	47	38	281	0,371
		%	97,0	96,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,3	
	1	n	1	1	0	0	0	0	0	0	2	
		%	3,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	
Po 6 miesiącach	0	n	28	27	30	27	39	32	45	38	266	0,003
		%	84,8	100	83,3	87,1	100,0	100,0	95,7	100,0	94,0	
	1	n	5	0	3	2	0	0	1	0	11	
		%	15,2	0,0	8,3	6,5	0,0	0,0	2,1	0,0	3,9	
	2	n	0	0	3	2	0	0	1	0	6	
		%	0,0	0,0	8,3	6,5	0,0	0,0	2,1	0,0	2,1	
Po 12 miesiącach	0	n	13	20	16	20	33	29	39	37	207	0,001
		%	39,4	74,1	44,4	64,5	84,6	90,6	83,0	97,4	73,1	
	1	n	18	7	13	7	6	3	5	1	60	
		%	54,5	25,9	36,1	22,6	15,4	9,4	10,6	2,6	21,2	
	2	n	2	0	6	3	0	0	2	0	13	
		%	6,1	0,0	16,7	9,7	0,0	0,0	4,3	0,0	4,6	
	3	n	0	0	1	1	0	0	1	0	3	
		%	0,0	0,0	2,8	3,2	0,0	0,0	2,1	0,0	1,1	
Po 24 miesiącach	0	n	0	10	1	13	7	16	16	14	77	0,001
		%	0,0	37,0	2,8	41,9	17,9	50,0	34,0	36,8	27,2	
	1	n	27	17	26	13	32	16	28	24	183	
		%	81,8	63,0	72,2	41,9	82,1	50,0	59,6	63,2	64,7	
	2	n	4	0	1	1	0	0	0	0	6	
		%	12,1	0,0	2,8	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	
	3	n	2	0	8	4	0	0	3	0	17	
		%	6,1	0,0	22,2	12,9	0,0	0,0	6,4	0,0	6,0	
Łączna ilość wypełnień w grupach	n	33	27	36	31	39	32	47	38	283	-	
	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		

Tabela IX Wyniki badania klinicznego dotyczącego dopasowania koloru wypełnienia w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez, podczas kolejnych wizyt kontrolnych

Badanie kontrolne	Punkty oceny		Grupa									Wartość p test χ^2 Pearsona
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Razem	
Bezpośrednio po wykonaniu	0	n	33	27	36	31	39	32	47	38	283	-
		%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Po 6 miesiącach	0	n	31	27	33	29	39	32	46	38	275	0,150
		%	93,9	100,0	91,7	93,5	100,0	100,0	97,9	100,0	97,2	
	1	n	2	0	3	2	0	0	1	0	8	
		%	6,1	0,0	8,3	6,5	0,0	0,0	2,1	0,0	2,8	
Po 12 miesiącach	0	n	21	26	23	29	35	31	40	38	243	0,001
		%	63,6	96,3	63,9	93,5	89,7	96,9	85,1	100,0	85,9	
	1	n	12	1	10	0	4	1	6	0	34	
		%	36,4	3,7	27,8	0,0	10,3	3,1	12,8	0,0	12,0	
	2	n	0	0	3	2	0	0	1	0	6	
		%	0,0	0,0	8,3	6,5	0,0	0,0	2,1	0,0	2,1	
Po 24 miesiącach	0	n	0	18	5	17	18	24	25	28	135	0,001
		%	0,0	66,7	13,9	54,8	46,2	75,0	53,2	73,7	47,7	
	1	n	31	9	22	10	20	8	19	10	129	
		%	93,9	33,3	61,1	32,3	51,3	25,0	40,4	26,3	45,6	
	2	n	2	0	7	3	1	0	3	0	16	
		%	6,1	0,0	19,4	9,7	2,6	0,0	6,4	0,0	5,7	
	3	n	0	0	2	1	0	0	0	0	3	
		%	0,0	0,0	5,6	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	
Łączna ilość wypełnień w grupach		n	33	27	36	31	39	32	47	38	283	-
		%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

Tabela X Wyniki badania klinicznego dotyczącego przebarwienia brzęznego wypełnienia w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez, podczas kolejnych wizyt kontrolnych

Badanie kontrolne	Punkty oceny		Grupa									Wartość p test χ^2 Pearsona
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Razem	
Bezpośrednio po wykonaniu	0	n	33	27	36	31	39	32	47	38	283	-
		%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Po 6 miesiącach	0	n	30	27	31	29	39	32	46	38	272	0,054
		%	90,9	100,0	86,1	93,5	100,0	100,0	97,9	100,0	96,1	
	1	n	2	0	2	0	0	0	1	0	5	
		%	6,1	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	1,8	
	2	n	1	0	3	2	0	0	0	0	6	
		%	3,0	0,0	8,3	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	
Po 12 miesiącach	0	n	14	14	11	18	23	29	27	25	161	0,001
		%	42,4	51,9	30,6	58,1	59,0	90,6	57,4	65,8	56,9	
	1	n	16	13	17	9	16	3	18	13	105	
		%	48,5	48,1	47,2	29,0	41,0	9,4	38,3	34,2	37,1	
	2	n	2	0	7	2	0	0	2	0	13	
		%	6,1	0,0	19,4	6,5	0,0	0,0	4,3	0,0	4,6	
	3	n	1	0	1	2	0	0	0	0	4	
		%	3,0	0,0	2,8	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	
Po 24 miesiącach	0	n	1	3	1	3	4	8	3	7	30	0,001
		%	3,0	11,1	2,8	9,7	10,3	25,0	6,4	18,4	10,6	
	1	n	21	23	21	21	34	24	40	31	215	
		%	63,6	85,2	58,3	67,7	87,2	75,0	85,1	81,6	76,2	
	2	n	9	1	7	3	1	0	1	0	22	
		%	27,3	3,7	19,4	9,7	2,6	0,0	2,1	0,0	7,4	
	3	n	2	0	7	4	0	0	3	0	16	
		%	6,1	0,0	19,4	12,9	0,0	0,0	6,4	0,0	5,7	
Łączna ilość wypełnień w grupach		n	33	27	36	31	39	32	47	38	283	-
		%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

Tabela XI Wyniki badania klinicznego dotyczącego chropowatości powierzchni wypełnienia w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez, podczas kolejnych wizyt kontrolnych

Badanie kontrolne	Punkty oceny		Grupa									Wartość p test χ^2 Pearsona
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Razem	
Bezpośrednio po wykonaniu	0	n	33	27	36	31	39	32	46	38	282	0,655
		%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,9	100,0	
	2	n	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
		%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,4	
Po 6 miesiącach	0	n	30	27	29	27	39	32	45	37	266	0,009
		%	90,9	100,0	80,6	87,1	100,0	100,0	95,7	97,4	94,0	
	1	n	2	0	2	2	0	0	2	1	9	
		%	6,1	0,0	5,6	6,5	0,0	0,0	4,3	2,6	3,2	
	2	n	1	0	5	2	0	0	0	0	8	
		%	3,0	0,0	13,9	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	
Po 12 miesiącach	0	n	11	12	6	12	22	23	26	24	136	0,001
		%	33,3	44,4	16,7	38,7	56,4	71,9	55,3	63,2	48,1	
	1	n	20	14	22	15	17	9	18	14	129	
		%	60,6	51,9	61,1	48,4	43,6	28,1	38,3	36,8	45,6	
	2	n	1	1	3	1	0	0	3	0	9	
		%	3,0	3,7	8,3	3,2	0,0	0,0	6,4	0,0	3,2	
	3	n	1	0	5	3	0	0	0	0	9	
		%	3,0	0,0	13,9	9,7	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	
Po 24 miesiącach	0	n	0	2	1	3	2	4	3	5	20	0,001
		%	0,0	7,4	2,8	9,7	5,1	12,5	6,4	13,2	7,1	
	1	n	23	22	18	21	37	28	40	31	220	
		%	69,7	81,5	50,0	67,7	94,9	87,5	85,1	81,6	77,7	
	2	n	8	3	10	3	0	0	1	2	27	
		%	24,2	11,1	27,8	9,7	0,0	0,0	2,1	5,3	9,5	
	3	n	2	0	7	4	0	0	3	0	16	
		%	6,1	0,0	19,4	12,9	0,0	0,0	6,4	0,0	5,7	
Łączna ilość wypełnień w grupach	n	33	27	36	31	39	32	47	38	283	-	
	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		

Tabela XII Wyniki badania klinicznego dotyczącego obecności próchnicy wtórnej wokół wypełnienia w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez, podczas kolejnych wizyt kontrolnych

Badanie kontrolne	Punkty oceny		Grupa									Wartość p test χ^2 Pearsona
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Razem	
Bezpośrednio po wykonaniu	0	n	33	27	36	31	39	32	47	38	283	-
		%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Po 6 miesiącach	0	n	33	27	34	28	39	32	47	38	278	0,012
		%	100,0	100,0	94,4	90,3	100,0	100,0	100,0	100,0	98,2	
	1	n	0	0	2	3	0	0	0	0	5	
		%	0,0	0,0	5,6	9,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	
Po 12 miesiącach	0	n	31	27	31	27	39	32	45	38	270	0,009
		%	93,9	100,0	86,1	87,1	100,0	100,0	95,7	100,0	95,4	
	1	n	2	0	5	4	0	0	2	0	13	
		%	6,1	0,0	13,9	12,9	0,0	0,0	4,3	0,0	4,6	
Po 24 miesiącach	0	n	31	27	29	27	39	32	44	38	267	0,001
		%	93,9	100,0	80,6	87,1	100,0	100,0	93,6	100,0	94,3	
	1	n	2	0	7	4	0	0	3	0	16	
		%	6,1	0,0	19,4	12,9	0,0	0,0	6,4	0,0	5,7	
Łączna ilość wypełnień w grupach		n	33	27	36	31	39	32	47	38	283	-
		%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

Tabela XIII Wpływ rodzaju zęba (przedtrzonowy lub trzonowy) na ocenę kształtu anatomicznego oraz adaptacji brzeżnej po 12 i 24 miesiącach w zależności od rodzaju materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania

Grupa	Badanie	Rodzaj zęba	Kształt anatomiczny				Wartość p	Adaptacja brzeżna				Wartość p
			0	1	2	3		0	1	2	3	
I	po 12 miesiącach	przedtrz.	12	6	1	0	0,317	7	10	2	0	0,454
		trzonowy	12	2	0	0		6	8	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	0	17	2	0	0,027	14	3	2		0,312
		trzonowy	4	10	0	0		13	1	0		
II	po 12 miesiącach	przedtrz.	17	3	0	0	0,700	15	5	0	0	0,853
		trzonowy	7	0	0	0		5	2	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	7	13	0	0	0,581	8	12	0	0	0,933
		trzonowy	1	6	0	0		2	5	0	0	
III	po 12 miesiącach	przedtrz.	10	10	1	0	0,691	9	8	3	1	0,809
		trzonowy	9	5	1	0		7	5	3	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	3	14	4	0	0,334	1	15	1	4	0,646
		trzonowy	3	8	2	2		0	11	0	4	
IV	po 12 miesiącach	przedtrz.	16	4	0	0	0,122	12	6	2	0	0,337
		trzonowy	8	1	2	0		8	1	1	1	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	3	15	1	1	0,239	8	9	1	2	0,778
		trzonowy	4	5	2	0		5	4	0	2	
V	po 12 miesiącach	przedtrz.	26	0	0	0	-	23	3	0	0	0,638
		trzonowy	13	0	0	0		10	3	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	10	16	0	0	0,270	4	22	0	0	0,555
		trzonowy	2	11	0	0		3	10	0	0	
VI	po 12 miesiącach	przedtrz.	20	1	0	0	0,999	18	3	0	0	0,498
		trzonowy	11	0	0	0		11	0	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	10	11	0	0	0,907	10	11	0	0	0,710
		trzonowy	5	6	0	0		6	5	0	0	
VII	po 12 miesiącach	przedtrz.	22	2	2	0	0,383	20	4	1	1	0,509
		trzonowy	20	1	0	0		19	1	1	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	8	16	2	0	0,766	8	16	0	2	0,828
		trzonowy	5	15	1	0		8	12	0	1	
VIII	po 12 miesiącach	przedtrz.	22	2	0	0	0,721	23	1	0	0	0,999
		trzonowy	14	0	0	0		14	0	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	14	10	0	0	0,943	5	19	0	0	0,007
		trzonowy	8	6	0	0		9	5	0	0	

Tabela XIV Wpływ rodzaju zęba (przedtrzonowy lub trzonowy) na ocenę dopasowania koloru oraz przebarwienia brzęznego po 12 i 24 miesiącach w zależności od rodzaju materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania

Grupa	Badanie	Rodzaj zęba	Dopasowanie koloru				Wartość p	Przebarwienie brzęczne				Wartość p
			0	1	2	3		0	1	2	3	
I	po 12 miesiącach	przedtrz.	9	10	0	0	0,058	9	7	2	1	0,293
		trzonowy	12	2	0	0		5	9	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	17	2	0	0	0,607	0	10	7	2	0,159
		trzonowy	14	0	0	0		1	11	2	0	
II	po 12 miesiącach	przedtrz.	19	1	0	0	0,547	10	10	0	0	0,745
		trzonowy	7	0	0	0		4	3	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	11	9	0	0	0,088	2	17	1	0	0,804
		trzonowy	7	0	0	0		1	6	0	0	
III	po 12 miesiącach	przedtrz.	12	7	2	0	0,605	6	11	4	0	0,625
		trzonowy	11	3	1	0		5	6	3	1	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	3	13	4	1	0,995	1	12	4	4	0,865
		trzonowy	2	9	3	1		0	9	3	3	
IV	po 12 miesiącach	przedtrz.	19	0	1	0	0,657	11	7	1	1	0,765
		trzonowy	10	0	1	0		7	2	1	1	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	11	7	2	0	0,582	2	13	2	2	0,683
		trzonowy	6	3	1	1		1	8	0	2	
V	po 12 miesiącach	przedtrz.	24	2	0	0	0,852	16	10	0	0	0,645
		trzonowy	11	2	0	0		7	6	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	13	13	0	0	0,321	2	24	0	0	0,255
		trzonowy	5	7	1	0		2	10	1	0	
VI	po 12 miesiącach	przedtrz.	20	1	0	0	0,999	18	3	0	0	0,498
		trzonowy	11	0	0	0		11	0	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	13	8	0	0	0,053	6	15	0	0	0,519
		trzonowy	11	0	0	0		2	9	0	0	
VII	po 12 miesiącach	przedtrz.	21	4	1	0	0,536	14	10	2	0	0,418
		trzonowy	19	2	0	0		13	8	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	12	12	2	0	0,557	2	21	1	2	0,741
		trzonowy	13	7	1	0		1	19	0	1	
VIII	po 12 miesiącach	przedtrz.	24	0	0	0	-	17	7	0	0	0,391
		trzonowy	14	0	0	0		8	6	0	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	17	7	0	0	0,601	5	19	0	0	0,616
		trzonowy	11	3	0	0		2	12	0	0	

Tabela XV Wpływ rodzaju zęba (przedtrzonowy lub trzonowy) na ocenę chropowatości powierzchni oraz obecności próchnicy wtórnej po 12 i 24 miesiącach w zależności od rodzaju materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania

Grupa	Badanie	Rodzaj zęba	Chropowatość powierzchni				Wartość p	Próchnica wtórna		Wartość p
			0	1	2	3		0	1	
I	po 12 miesiącach	przedtrz.	6	11	1	1	0,666	17	2	0,601
		trzonowy	5	9	0	0		14	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	12	5	2	0	0,401	17	2	0,601
		trzonowy	11	3	0	0		14	0	
II	po 12 miesiącach	przedtrz.	9	10	1	0	0,817	20	0	-
		trzonowy	3	4	0	0		7	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	2	15	3	0	0,342	20	0	-
		trzonowy	0	7	0	0		7	0	
III	po 12 miesiącach	przedtrz.	3	13	2	3	0,966	18	3	0,935
		trzonowy	3	9	1	2		13	2	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	1	11	5	4	0,786	17	4	0,943
		trzonowy	0	7	5	3		12	3	
IV	po 12 miesiącach	przedtrz.	8	10	1	1	0,598	18	2	0,928
		trzonowy	4	5	0	2		9	2	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	3	13	2	2	0,555	18	2	0,928
		trzonowy	0	8	1	2		9	2	
V	po 12 miesiącach	przedtrz.	15	11	0	0	0,819	26	0	-
		trzonowy	7	6	0	0		13	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	1	25	0	0	0,608	26	0	-
		trzonowy	1	12	0	0		13	0	
VI	po 12 miesiącach	przedtrz.	13	8	0	0	0,187	21	0	-
		trzonowy	10	1	0	0		11	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	2	19	0	0	0,481	21	0	-
		trzonowy	2	9	0	0		11	0	
VII	po 12 miesiącach	przedtrz.	12	12	2	0	0,372	24	2	0,567
		trzonowy	14	6	1	0		21	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	2	21	1	2	0,741	24	2	0,683
		trzonowy	1	19	0	1		20	1	
VIII	po 12 miesiącach	przedtrz.	16	8	0	0	0,557	24	0	-
		trzonowy	8	6	0	0		14	0	
	po 24 miesiącach	przedtrz.	4	19	1	0	0,669	24	0	-
		trzonowy	1	12	1	0		14	0	

Tabela XVI Wpływ głębokości ubytku (średni lub głęboki) na ocenę kształtu anatomicznego oraz adaptacji brzeżnej po 12 i 24 miesiącach w zależności od rodzaju materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania

Grupa	Badanie	Głębokość ubytku	Kształt anatomiczny				Wartość p	Adaptacja brzeżna				Wartość p
			0	1	2	3		0	1	2	3	
I	po 12 miesiącach	średni	10	4	0	0	0,628	5	9	0	0	0,372
		głęboki	14	4	1	0		8	9	2	0	
	po 24 miesiącach	średni	3	11	0	0	0,198	11	3	0	0	0,198
		głęboki	1	16	2	0		16	1	2	0	
II	po 12 miesiącach	średni	6	1	0	0	0,756	5	2	0	0	0,853
		głęboki	18	2	0	0		15	5	0	0	
	po 24 miesiącach	średni	1	6	0	0	0,581	3	4	0	0	0,711
		głęboki	7	13	0	0		7	13	0	0	
III	po 12 miesiącach	średni	7	3	0	0	0,368	6	4	0	0	0,320
		głęboki	12	12	2	0		10	9	6	1	
	po 24 miesiącach	średni	1	8	1	0	0,509	1	8	0	1	0,258
		głęboki	5	14	5	2		0	18	1	7	
IV	po 12 miesiącach	średni	8	0	1	0	0,261	6	2	0	1	0,298
		głęboki	16	5	1	0		14	5	3	0	
	po 24 miesiącach	średni	2	6	1	0	0,931	6	2	0	1	0,325
		głęboki	5	14	2	1		7	11	1	3	
V	po 12 miesiącach	średni	16	0	0	0	-	12	4	0	0	0,349
		głęboki	23	0	0	0		21	2	0	0	
	po 24 miesiącach	średni	6	10	0	0	0,448	2	14	0	0	0,460
		głęboki	6	17	0	0		5	18	0	0	
VI	po 12 miesiącach	średni	6	0	0	0	0,999	6	0	0	0	0,923
		głęboki	25	1	0	0		23	3	0	0	
	po 24 miesiącach	średni	1	5	0	0	0,234	3	3	0	0	0,999
		głęboki	14	12	0	0		13	13	0	0	
VII	po 12 miesiącach	średni	16	1	0	0	0,546	17	0	0	0	0,141
		głęboki	26	2	2	0		22	5	2	1	
	po 24 miesiącach	średni	6	11	0	0	0,322	8	9	0	0	0,200
		głęboki	7	20	3	0		8	19	0	3	
VIII	po 12 miesiącach	średni	8	0	0	0	0,999	8	0	0	0	0,999
		głęboki	28	2	0	0		29	1	0	0	
	po 24 miesiącach	średni	3	5	0	0	0,362	2	6	0	0	0,712
		głęboki	19	11	0	0		12	18	0	0	

Tabela XVII Wpływ głębokości ubytku (średni lub głęboki) na ocenę dopasowania koloru oraz przebarwienia brzeżnego po 12 i 24 miesiącach w zależności od rodzaju materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania

Grupa	Badanie	Głębokość ubytku	Dopasowania koloru				Wartość p	Przebarwienie brzeżne				Wartość p
			0	1	2	3		0	1	2	3	
I	po 12 miesiącach	średni	9	5	0	0	0,947	6	8	0	0	0,460
		głęboki	12	7	0	0		8	8	2	1	
	po 24 miesiącach	średni	14	0	0	0	0,607	1	8	5	0	0,305
		głęboki	17	2	0	0		0	13	4	2	
II	po 12 miesiącach	średni	7	0	0	0	0,547	4	3	0	0	0,745
		głęboki	19	1	0	0		10	10	0	0	
	po 24 miesiącach	średni	4	3	0	0	0,535	1	6	0	0	0,804
		głęboki	14	6	0	0		2	17	1	0	
III	po 12 miesiącach	średni	6	4	0	0	0,381	2	7	1	0	0,385
		głęboki	17	6	3	0		9	10	6	1	
	po 24 miesiącach	średni	2	6	2	0	0,766	1	7	2	0	0,132
		głęboki	3	16	5	2		0	14	5	7	
IV	po 12 miesiącach	średni	8	0	1	0	0,999	5	3	0	1	0,720
		głęboki	21	0	1	0		13	6	2	1	
	po 24 miesiącach	średni	4	4	0	1	0,212	0	8	0	1	0,416
		głęboki	13	6	3	0		3	13	2	3	
V	po 12 miesiącach	średni	16	0	0	0	0,221	12	4	0	0	0,172
		głęboki	19	4	0	0		11	12	0	0	
	po 24 miesiącach	średni	8	8	0	0	0,673	1	15	0	0	0,534
		głęboki	10	12	1	0		3	19	1	0	
VI	po 12 miesiącach	średni	6	0	0	0	0,999	5	1	0	0	0,999
		głęboki	25	1	0	0		24	2	0	0	
	po 24 miesiącach	średni	4	2	0	0	0,601	2	4	0	0	0,601
		głęboki	20	6	0	0		6	20	0	0	
VII	po 12 miesiącach	średni	16	1	0	0	0,405	11	6	0	0	0,487
		głęboki	24	5	1	0		16	12	2	0	
	po 24 miesiącach	średni	11	6	0	0	0,281	1	16	0	0	0,470
		głęboki	14	13	3	0		2	24	1	3	
VIII	po 12 miesiącach	średni	8	0	0	0	-	5	3	0	0	0,825
		głęboki	30	0	0	0		20	10	0	0	
	po 24 miesiącach	średni	6	2	0	0	0,924	2	6	0	0	0,589
		głęboki	22	8	0	0		5	25	0	0	

Tabela XVIII Wpływ głębokości ubytku (średni lub głęboki) na ocenę chropowatości powierzchni oraz obecności próchnicy wtórnej po 12 i 24 miesiącach w zależności od rodzaju materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania

Grupa	Badanie	Głębokość ubytku	Chropowatość powierzchni				Wartość p	Próchnica wtórna		Wartość p
			0	1	2	3		0	1	
I	po 12 miesiącach	średni	8	6	0	0	0,076	14	0	0,607
		głęboki	3	14	1	1		17	2	
	po 24 miesiącach	średni	11	3	0	0	0,401	14	0	0,607
		głęboki	12	5	2	0		17	2	
II	po 12 miesiącach	średni	3	4	0	0	0,817	7	0	-
		głęboki	9	10	1	0		20	0	
	po 24 miesiącach	średni	1	5	1	0	0,668	7	0	-
		głęboki	1	17	2	0		20	0	
III	po 12 miesiącach	średni	1	9	0	0	0,149	10	0	0,339
		głęboki	5	13	3	5		21	5	
	po 24 miesiącach	średni	1	5	4	0	0,111	10	0	0,174
		głęboki	0	13	6	7		19	7	
IV	po 12 miesiącach	średni	3	5	0	1	0,881	8	1	0,849
		głęboki	9	10	1	2		19	3	
	po 24 miesiącach	średni	0	8	0	1	0,344	8	1	0,849
		głęboki	3	13	3	3		19	3	
V	po 12 miesiącach	średni	10	6	0	0	0,522	16	0	-
		głęboki	12	11	0	0		23	0	
	po 24 miesiącach	średni	1	15	0	0	0,999	16	0	-
		głęboki	1	22	0	0		23	0	
VI	po 12 miesiącach	średni	5	1	0	0	0,805	6	0	-
		głęboki	18	8	0	0		26	0	
	po 24 miesiącach	średni	0	6	0	0	0,732	6	0	-
		głęboki	4	22	0	0		26	0	
VII	po 12 miesiącach	średni	11	6	0	0	0,335	17	0	0,737
		głęboki	15	12	3	0		28	2	
	po 24 miesiącach	średni	1	16	0	0	0,470	17	0	0,468
		głęboki	2	24	1	3		27	3	
VIII	po 12 miesiącach	średni	5	3	0	0	0,965	8	0	-
		głęboki	19	11	0	0		30	0	
	po 24 miesiącach	średni	1	7	0	0	0,748	8	0	-
		głęboki	4	24	2	0		30	0	

Tabela XIX Wpływ żywotności miazgi zęba (zab z żywą miazgą lub po leczeniu endodontycznym) na ocenę kształtu anatomicznego oraz adaptacji brzeżnej po 12 i 24 miesiącach w zależności od rodzaju materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania

Grupa	Badanie	Żywotność miazgi zęba	Kształt anatomiczny				Wartość p	Adaptacja brzeżna				Wartość p
			0	1	2	3		0	1	2	3	
I	po 12 miesiącach	miazga żywa	15	5	1	0	0,745	7	13	1	0	0,529
		po lecz. end.	9	3	0	0		6	5	1	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	2	18	1	0	0,745	0	17	3	1	0,823
		po lecz. end.	2	9	1	0		0	10	1	1	
II	po 12 miesiącach	miazga żywa	13	0	0	0	0,222	10	3	0	0	0,745
		po lecz. end.	11	3	0	0		10	4	0	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	4	9	0	0	0,901	5	8	0	0	0,883
		po lecz. end.	4	10	0	0		5	9	0	0	
III	po 12 miesiącach	miazga żywa	15	9	2	0	0,314	11	11	3	1	0,399
		po lecz. end.	4	6	0	0		5	2	3	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	4	18	2	2	0,094	1	21	0	4	0,117
		po lecz. end.	2	4	4	0		0	5	1	4	
IV	po 12 miesiącach	miazga żywa	14	1	2	0	0,122	11	3	2	1	0,706
		po lecz. end.	10	4	0	0		9	4	1	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	5	9	3	0	0,155	8	5	1	3	0,373
		po lecz. end.	2	11	0	1		5	8	0	1	
V	po 12 miesiącach	miazga żywa	25	0	0	0	-	20	5	0	0	0,286
		po lecz. end.	14	0	0	0		13	1	0	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	6	19	0	0	0,221	3	22	0	0	0,196
		po lecz. end.	6	8	0	0		4	10	0	0	
VI	po 12 miesiącach	miazga żywa	13	1	0	0	0,249	13	1	0	0	0,702
		po lecz. end.	18	0	0	0		16	2	0	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	5	9	0	0	0,265	6	8	0	0	0,476
		po lecz. end.	10	8	0	0		10	8	0	0	
VII	po 12 miesiącach	miazga żywa	20	3	1	0	0,215	20	2	2	0	0,361
		po lecz. end.	22	0	1	0		19	3	0	1	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	6	16	2	0	0,810	12	10	0	2	0,037
		po lecz. end.	7	15	1	0		4	18	0	1	
VIII	po 12 miesiącach	miazga żywa	13	0	0	0	0,295	13	0	0	0	0,465
		po lecz. end.	23	2	0	0		24	1	0	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	9	4	0	0	0,307	3	10	0	0	0,205
		po lecz. end.	13	12	0	0		11	14	0	0	

Tabela XX Wpływ żywotności miazgi zęba (zab z żywą miazgą lub po leczeniu endodontycznym) na ocenę dopasowania koloru oraz przebarwienia brzężnego po 12 i 24 miesiącach w zależności od rodzaju materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania

Grupa	Badanie	Żywotność miazgi zęba	Dopasowania koloru				Wartość p	Przebarwienie brzężne				Wartość p
			0	1	2	3		0	1	2	3	
I	po 12 miesiącach	miazga żywa	15	6	0	0	0,218	7	13	0	1	0,080
		po lecz. end.	6	6	0	0		7	3	2	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	0	20	1	0	0,679	1	13	6	1	0,851
		po lecz. end.	0	11	1	0		0	8	3	1	
II	po 12 miesiącach	miazga żywa	13	0	0	0	0,326	7	6	0	0	0,842
		po lecz. end.	13	1	0	0		7	7	0	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	10	3	0	0	0,276	0	13	0	0	0,113
		po lecz. end.	8	6	0	0		3	10	1	0	
III	po 12 miesiącach	miazga żywa	18	7	1	0	0,259	7	15	3	1	0,113
		po lecz. end.	5	3	2	0		4	2	4	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	4	17	4	1	0,633	1	16	5	4	0,719
		po lecz. end.	1	5	3	1		0	5	2	3	
IV	po 12 miesiącach	miazga żywa	16	0	1	0	0,887	8	6	2	1	0,398
		po lecz. end.	13	0	1	0		10	3	0	1	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	11	3	2	1	0,246	2	12	0	3	0,350
		po lecz. end.	6	7	1	0		1	9	2	1	
V	po 12 miesiącach	miazga żywa	22	3	0	0	0,632	14	11	0	0	0,614
		po lecz. end.	13	1	0	0		9	5	0	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	10	14	1	0	0,488	1	23	1	0	0,182
		po lecz. end.	8	6	0	0		3	11	0	0	
VI	po 12 miesiącach	miazga żywa	14	0	0	0	0,370	13	1	0	0	0,702
		po lecz. end.	17	1	0	0		16	2	0	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	11	3	0	0	0,681	5	9	0	0	0,217
		po lecz. end.	13	5	0	0		3	15	0	0	
VII	po 12 miesiącach	miazga żywa	19	4	1	0	0,418	15	8	1	0	0,766
		po lecz. end.	21	2	0	0		12	10	1	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	12	10	2	0	0,817	2	19	1	2	0,627
		po lecz. end.	13	9	1	0		1	21	0	1	
VIII	po 12 miesiącach	miazga żywa	13	0	0	0	-	7	6	0	0	0,263
		po lecz. end.	25	0	0	0		18	7	0	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	10	3	0	0	0,744	1	12	0	0	0,219
		po lecz. end.	18	7	0	0		6	19	0	0	

Tabela XXI Wpływ żywotności miazgi zęba (zab z żywą miazgą lub po leczeniu endodontycznym) na ocenę chropowatości powierzchni oraz obecności próchnicy wtórnej po 12 i 24 miesiącach w zależności od rodzaju materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania

Grupa	Badanie	Żywotność miazgi zęba	Chropowatość powierzchni				Wartość p	Próchnica wtórna		Wartość p
			0	1	2	3		0	1	
I	po 12 miesiącach	miazga żywa	7	13	1	0	0,505	20	1	0,679
		po lecz. end.	4	7	0	1		11	1	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	16	4	1	0	0,562	20	1	0,679
		po lecz. end.	7	4	1	0		11	1	
II	po 12 miesiącach	miazga żywa	4	9	0	0	0,179	13	0	-
		po lecz. end.	8	5	1	0		14	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	0	13	0	0	0,058	13	0	-
		po lecz. end.	2	9	3	0		14	0	
III	po 12 miesiącach	miazga żywa	5	16	3	2	0,250	24	2	0,232
		po lecz. end.	1	6	0	3		7	3	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	1	13	8	4	0,687	22	4	0,321
		po lecz. end.	0	5	2	3		7	3	
IV	po 12 miesiącach	miazga żywa	7	7	1	2	0,692	14	3	0,385
		po lecz. end.	5	8	0	1		13	1	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	2	12	0	3	0,211	14	3	0,385
		po lecz. end.	1	9	3	1		13	1	
V	po 12 miesiącach	miazga żywa	11	14	0	0	0,080	25	0	-
		po lecz. end.	11	3	0	0		14	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	1	24	0	0	0,670	25	0	-
		po lecz. end.	1	13	0	0		14	0	
VI	po 12 miesiącach	miazga żywa	10	4	0	0	0,961	14	0	-
		po lecz. end.	13	5	0	0		18	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	2	12	0	0	0,788	14	0	-
		po lecz. end.	2	16	0	0		18	0	
VII	po 12 miesiącach	miazga żywa	14	8	2	0	0,709	23	1	0,976
		po lecz. end.	12	10	1	0		22	1	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	2	19	1	2	0,627	22	2	0,576
		po lecz. end.	1	21	0	1		22	1	
VIII	po 12 miesiącach	miazga żywa	9	4	0	0	0,576	13	0	-
		po lecz. end.	15	10	0	0		25	0	
	po 24 miesiącach	miazga żywa	2	11	0	0	0,566	13	0	-
		po lecz. end.	3	20	2	0		25	0	

Tabela XXII Wartość maksymalna oraz lokalizacja naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej HMH (δ_{HMH}) [MPa] w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez

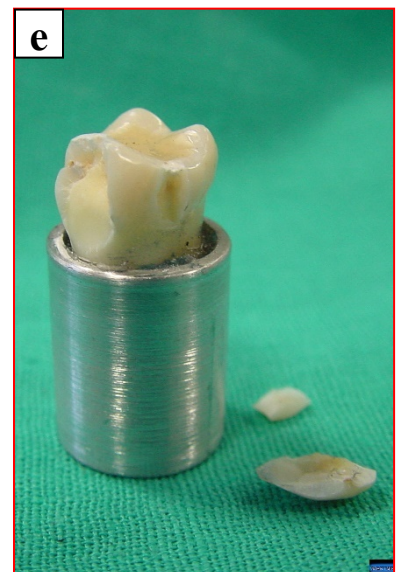
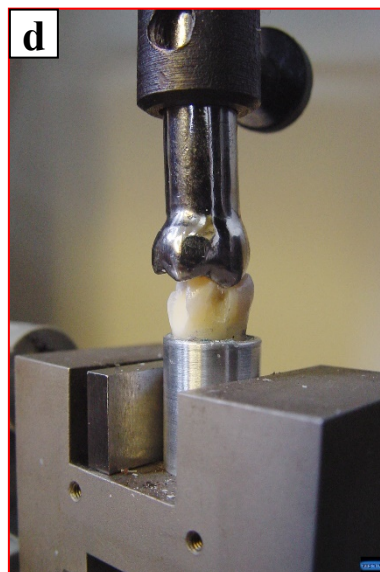
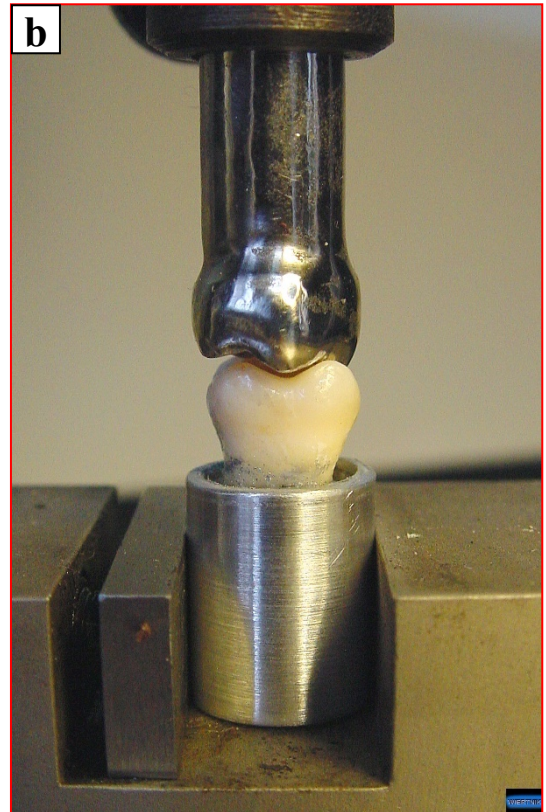
Numer grupy	Rodzaj materiału	Klasa ubytku	Metoda wypełniania	δ_{HMH} [MPa]	Lokalizacja δ_{HMH}
I	Filtek Z250	I	Konwencjonalna	25,029	poza obrębem wypełnienia, pow. zgryzowa, w okolicy bruzd międzyguzkowych
II	Gradia	I	Konwencjonalna	25,016	na granicy faz zęb-wypełnienie, pow. zgryzowa, w okolicy bruzd międzyguzkowych
III	Filtek Z250	II	Konwencjonalna	22,410	
IV	Gradia	II	Konwencjonalna	22,378	
V	Filtek Z250	I	Insertowa	24,991	poza obrębem wypełnienia, pow. zgryzowa, w okolicy bruzd międzyguzkowych
VI	Gradia	I	Insertowa	24,960	na granicy faz zęb-wypełnienie, pow. zgryzowa, w okolicy bruzd międzyguzkowych
VII	Filtek Z250	II	Insertowa	22,377	
VIII	Gradia	II	Insertowa	22,345	
IX	Grupa kontrolna – zdrowe zęby			9,431	okolica szyjki anat. zęba

Tabela XXIII Wartość maksymalna oraz lokalizacja odkształceń głównych (ϵ_1) [wartość bezwymiarowa] w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez

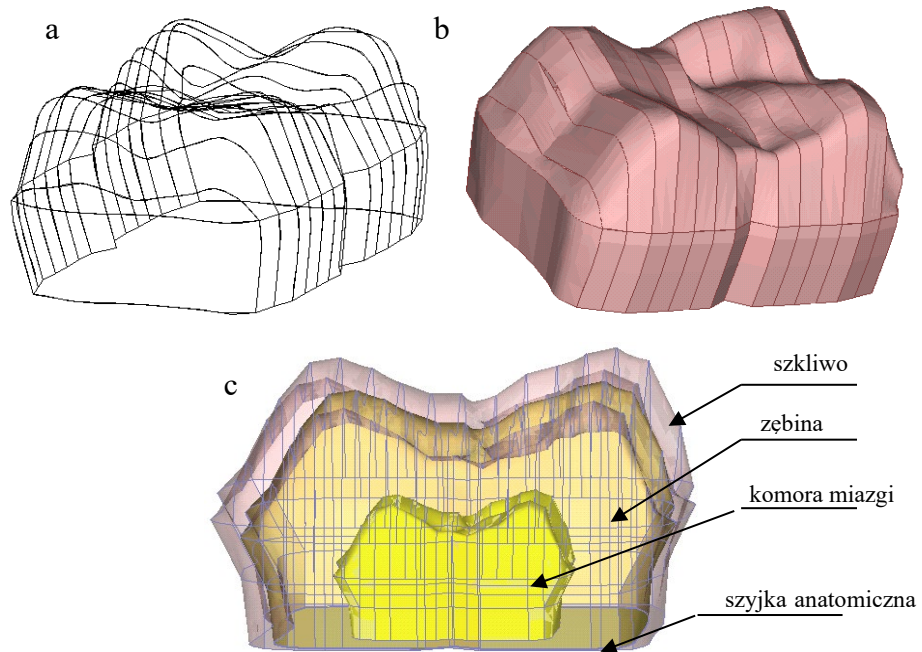
Numer grupy	Rodzaj materiału	Klasa ubytku	Metoda wypełniania	ϵ_1	Lokalizacja ϵ_1
I	Filtek Z250	I	Konwencjonalna	0,000480	poza obrębem wypełnienia, w okolicy rogów miazgi
II	Gradia	I	Konwencjonalna	0,000479	na granicy faz zęb-wypełnienie, w głębi ubytku, w okolicy bruzd międzyguzkowych
III	Filtek Z250	II	Konwencjonalna	0,00100	na granicy faz zęb-wypełnienie, pow. zgryzowa, w okolicy szczytów guzków
IV	Gradia	II	Konwencjonalna	0,00130	
V	Filtek Z250	I	Insertowa	0,000475	poza obrębem wypełnienia, w okolicy rogów miazgi
VI	Gradia	I	Insertowa	0,000471	na granicy faz zęb-wypełnienie, w głębi ubytku, w okolicy bruzd międzyguzkowych
VII	Filtek Z250	II	Insertowa	0,00126	na granicy faz zęb-wypełnienie, pow. zgryzowa, w okolicy szczytów guzków
VIII	Gradia	II	Insertowa	0,00157	
IX	Grupa kontrolna – zdrowe zęby			0,00252	okolica rogów miazgi

10.2 Ryciny

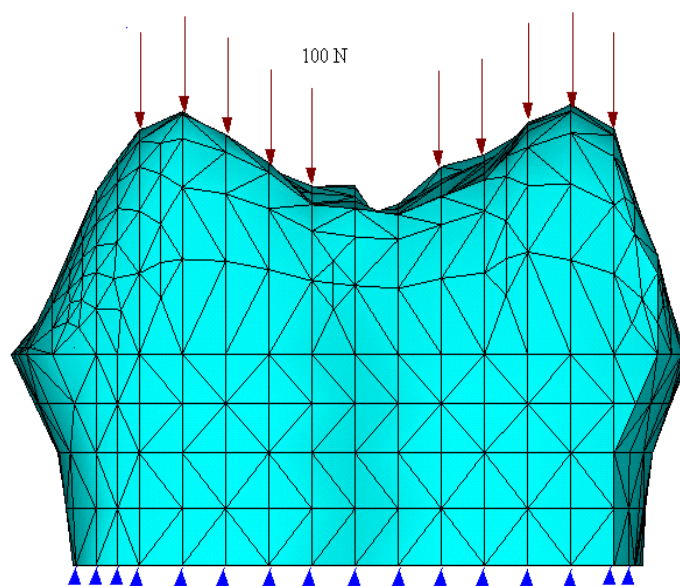
Rycina 1 Badania wytrzymałościowe - analiza siły niszczącej oraz energii zniszczenia: a) urządzenie pomiarowe Instron 4465 DMClab; b) głowica niszcząca w kontakcie z badanym wypełnieniem; c) i d) próbka w trakcie pomiaru oraz tuż po zniszczeniu; e) ząb z wypełnieniem I klasy – widoczna odłamana ściana mezjalna



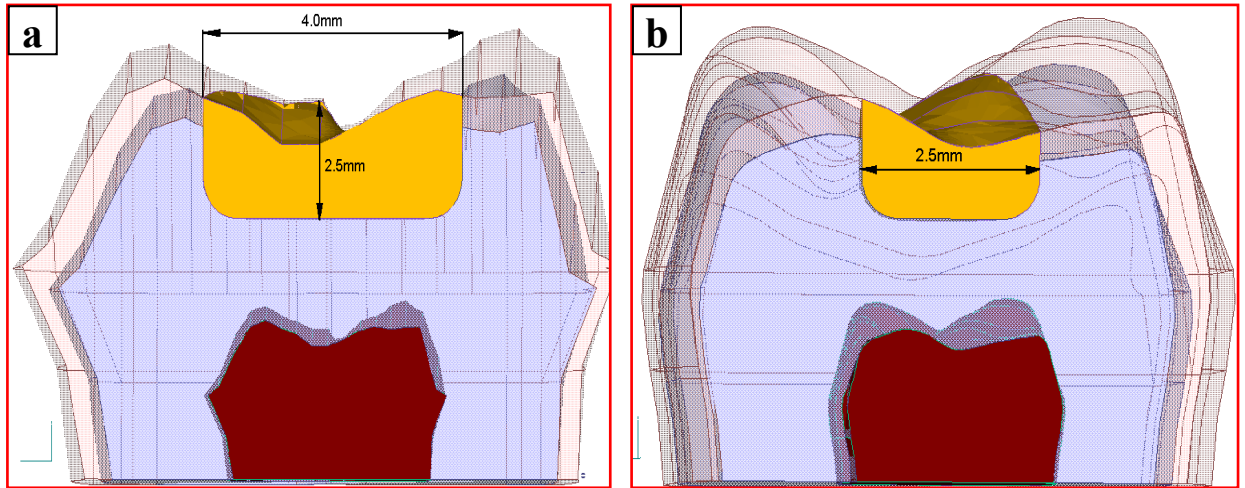
Rycina 2 Etapy tworzenia geometrii zęba w programie CAD-FEMAP: a) wyznaczenie krzywych przestrzennych na podstawie pomiarów współrzędnościowych; b) zarys bryły korony zęba powstały przez rozpięcie powierzchni pomiędzy krzywymi; c) podział na bryły szkliska, zębiny i komory miazgi



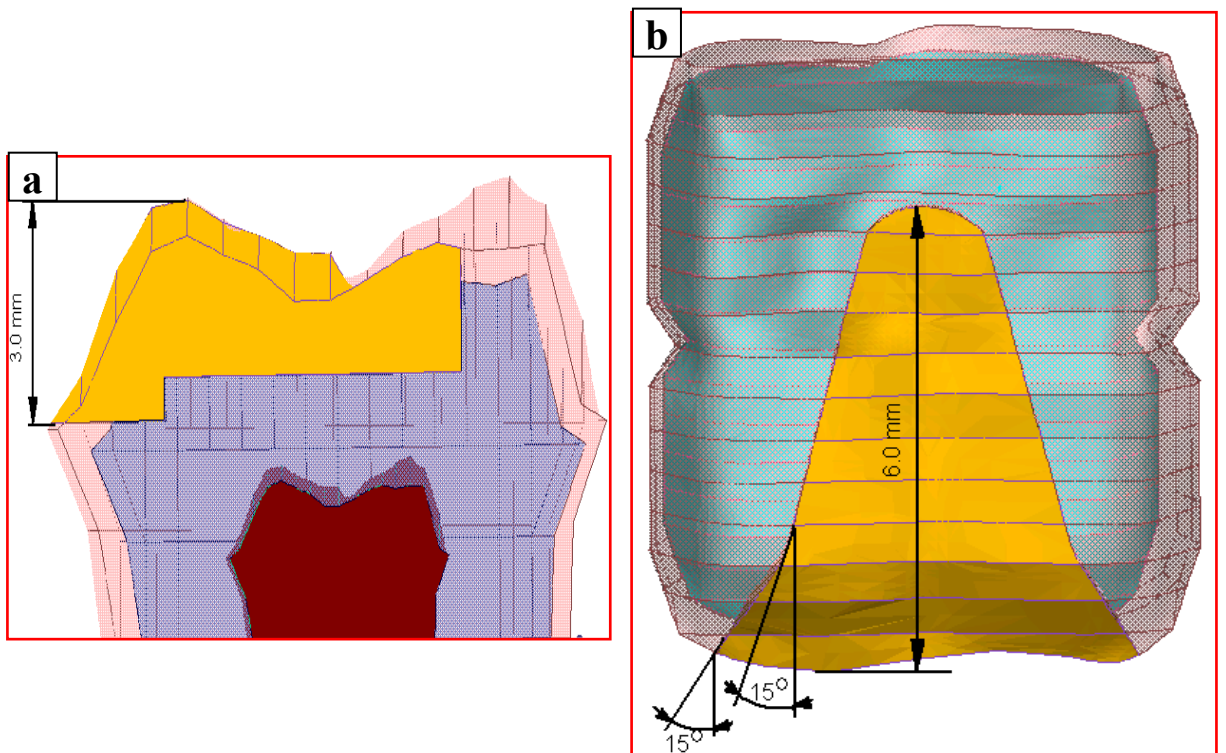
Rycina 3 Model korony zęba z podziałem na elementy skończone oraz sposobem obciążenia i utwierdzenia do podłoża



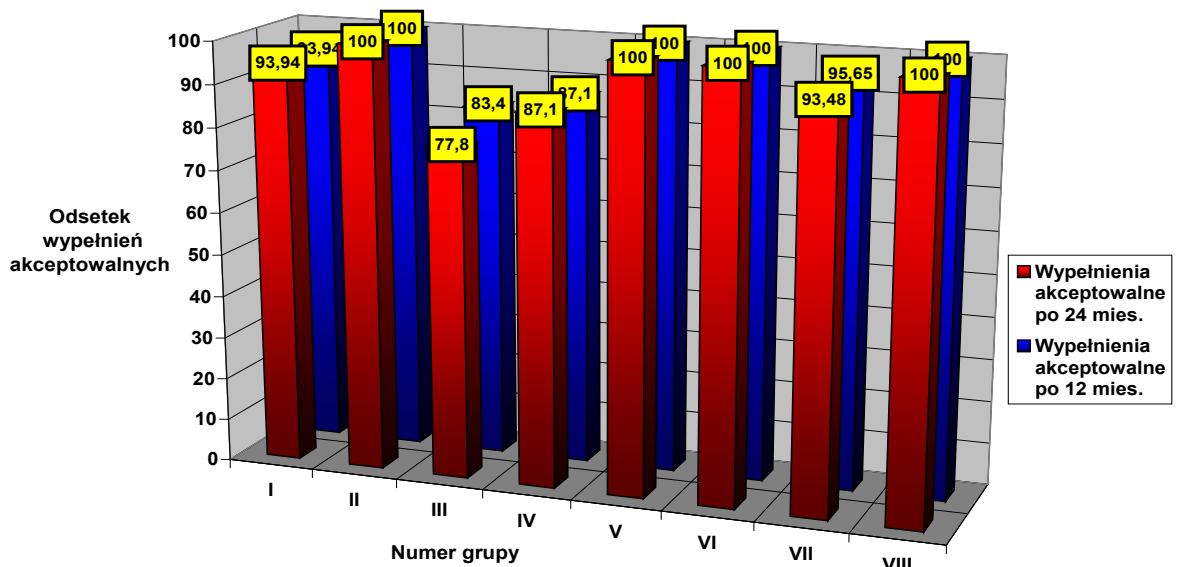
Rycina 4 Korona zęba trzonowego z zamodelowanym ubytkiem I klasy wg Blacka: a) przekrój mezjalno-dystalny; b) przekrój policzkowo-językowy



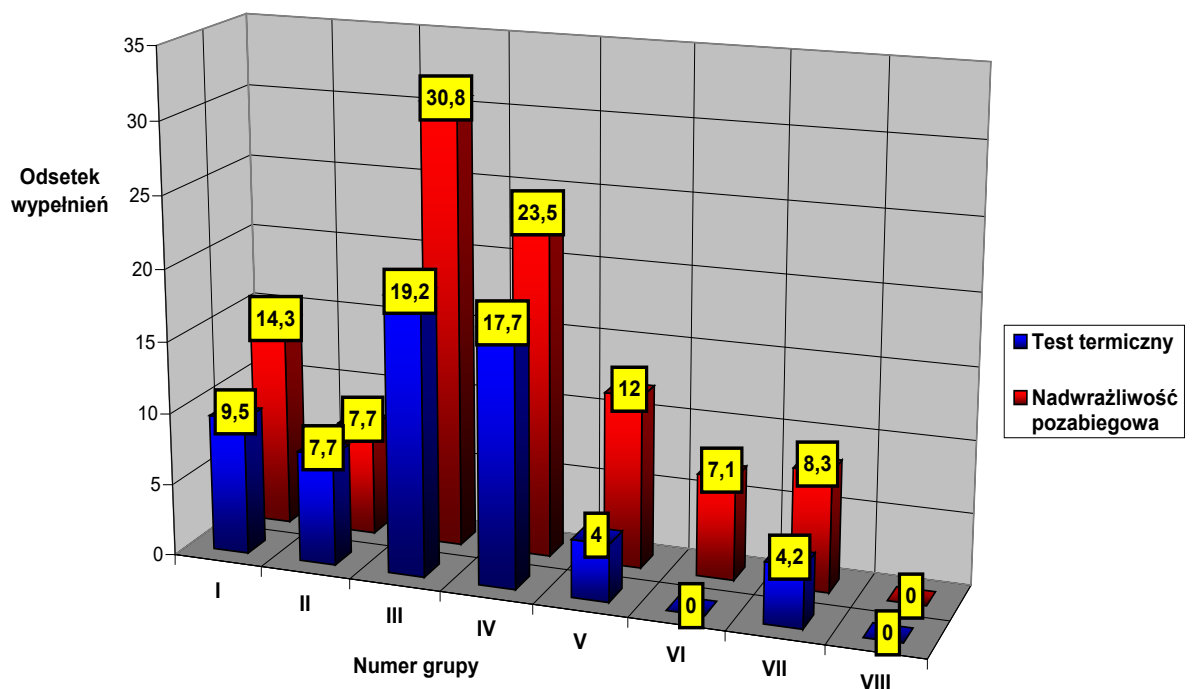
Rycina 5 Korona zęba trzonowego z zamodelowanym ubytkiem II klasy wg Blacka: a) przekrój mezjalno-dystalny; b) przekrój w płaszczyźnie zgryzowej



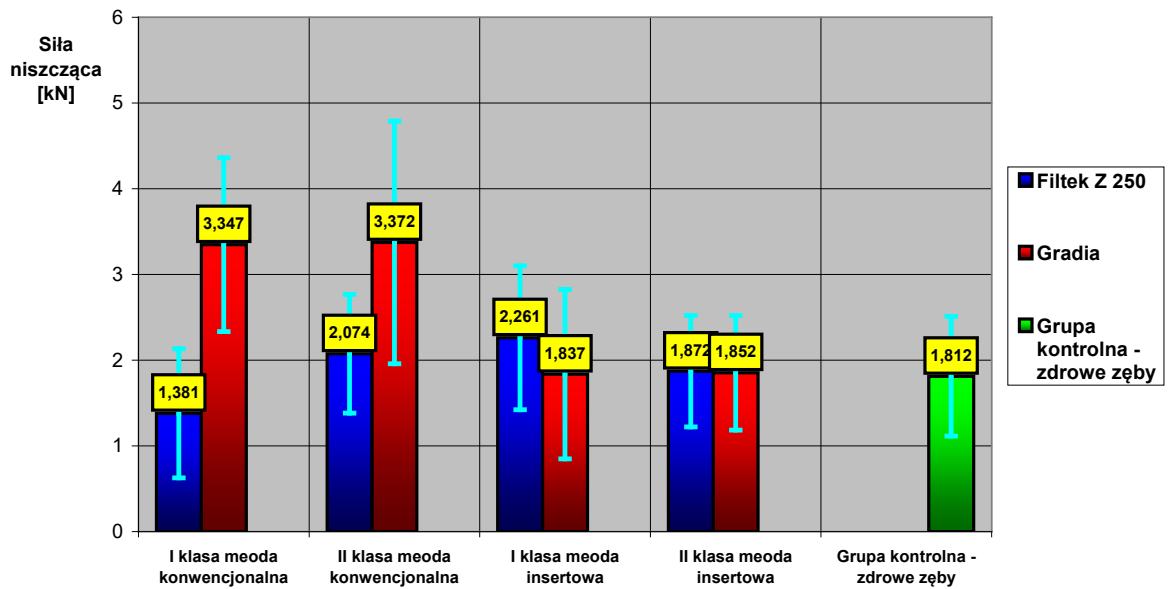
Rycina 6 Wypełnienia akceptowalne klinicznie po 12 oraz 24 miesiącach w zależności od rodzaju zastosowanego materiału, klasy ubytku oraz metody wypełniania – z insertami lub bez



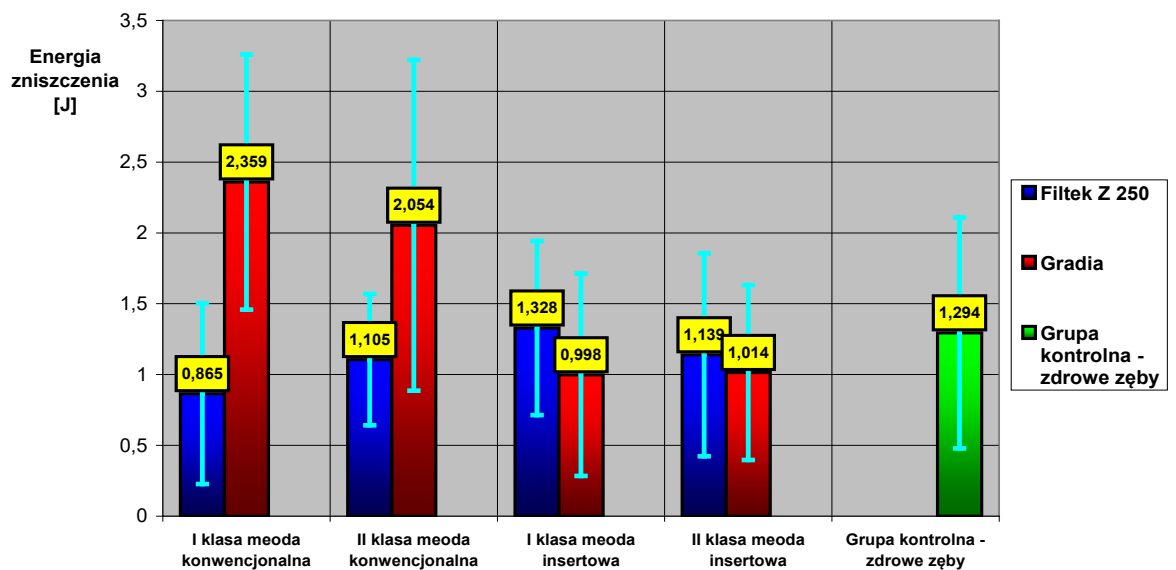
Rycina 7 Częstość występowania subiektywnych dolegliwości bólowych zgłaszanych przez pacjentów oraz nieprawidłowej reakcji miazgi zęba na test termiczny przy pomocy chlorku etylu, w odniesieniu do zębów z żywą miazgą



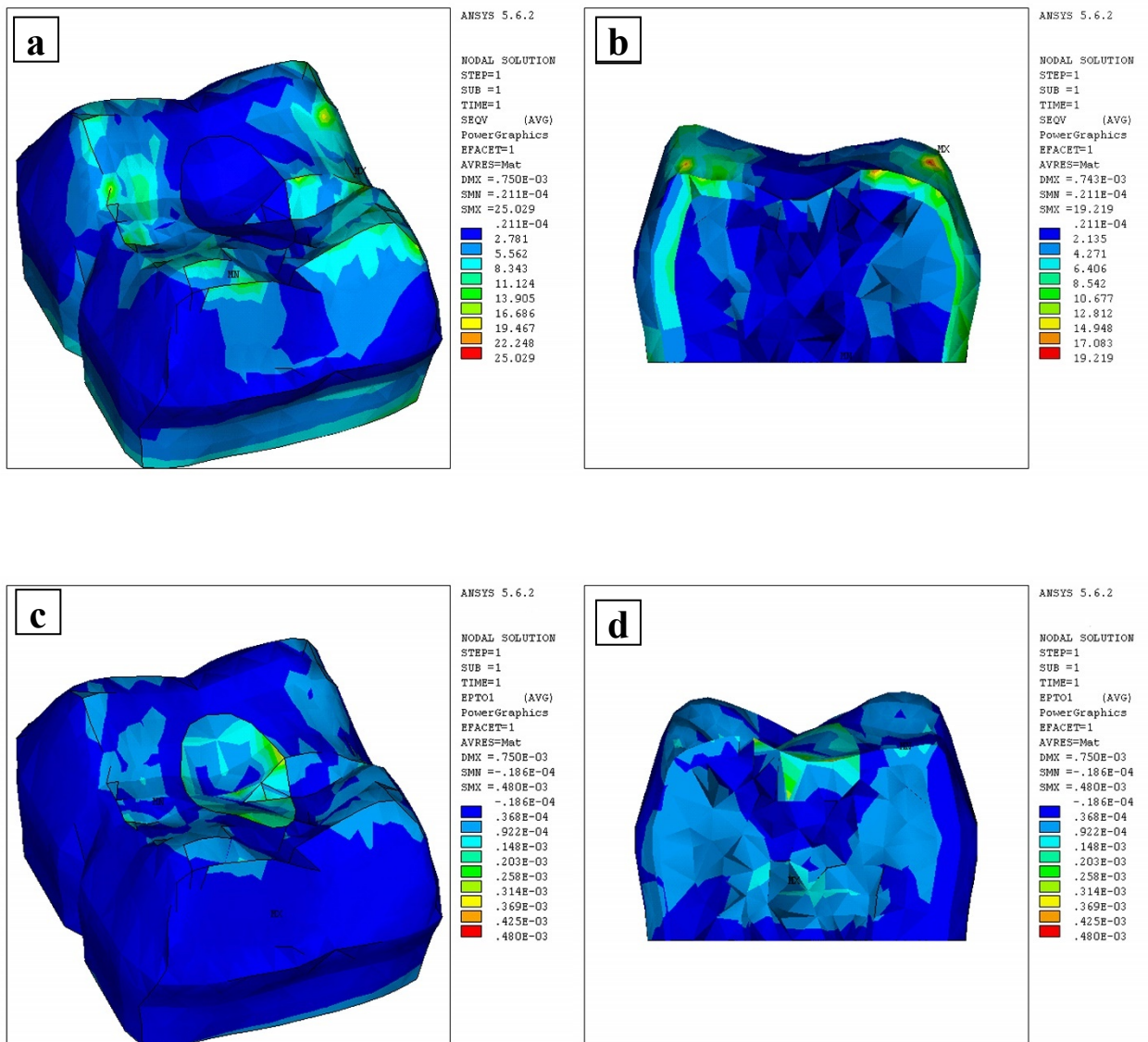
Rycina 8 Wartość średnia siły niszczonej w wypełnieniach I i II klasy wg Blacka w zależności od rodzaju zastosowanego materiału oraz metody wypełniania – z insertami lub bez



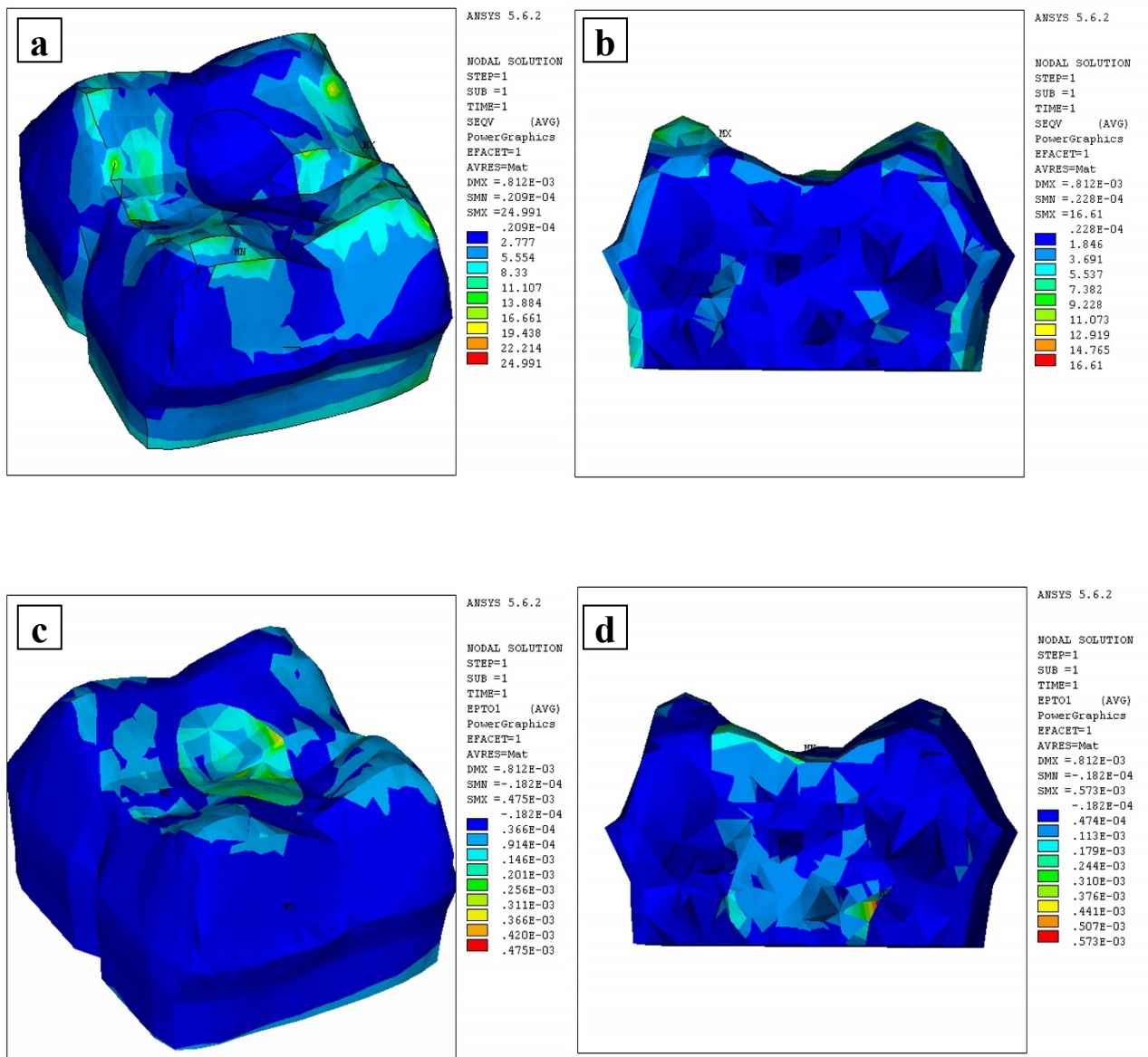
Rycina 9 Wartość średnia energii zniszczenia w wypełnieniach I i II klasy wg Blacka w zależności od rodzaju zastosowanego materiału oraz metody wypełniania – z insertami lub bez



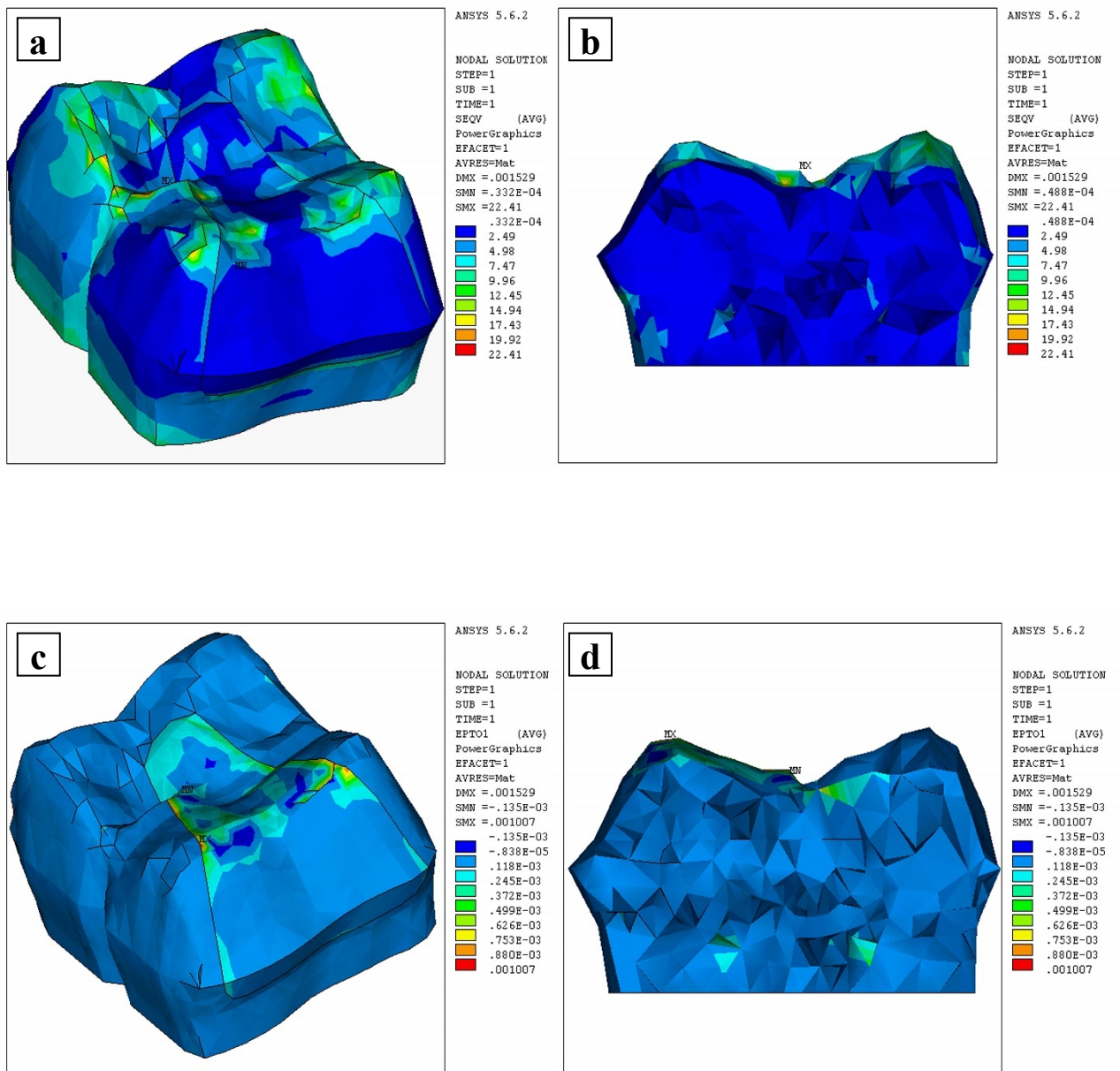
Rycina 10 Wartości oraz lokalizacja w zębie trzonowym z wypełnieniem I klasy (kompozyt Filtek Z250, metoda konwencjonalna) naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej HMH (δ_{HMH}) [MPa]: a) widok ogólny; b) przekrój policzkowo-językowy oraz odkształceń głównych (ϵ_1) [wartość bezwymiarowa]: c) widok ogólny; d) przekrój policzkowo-językowy



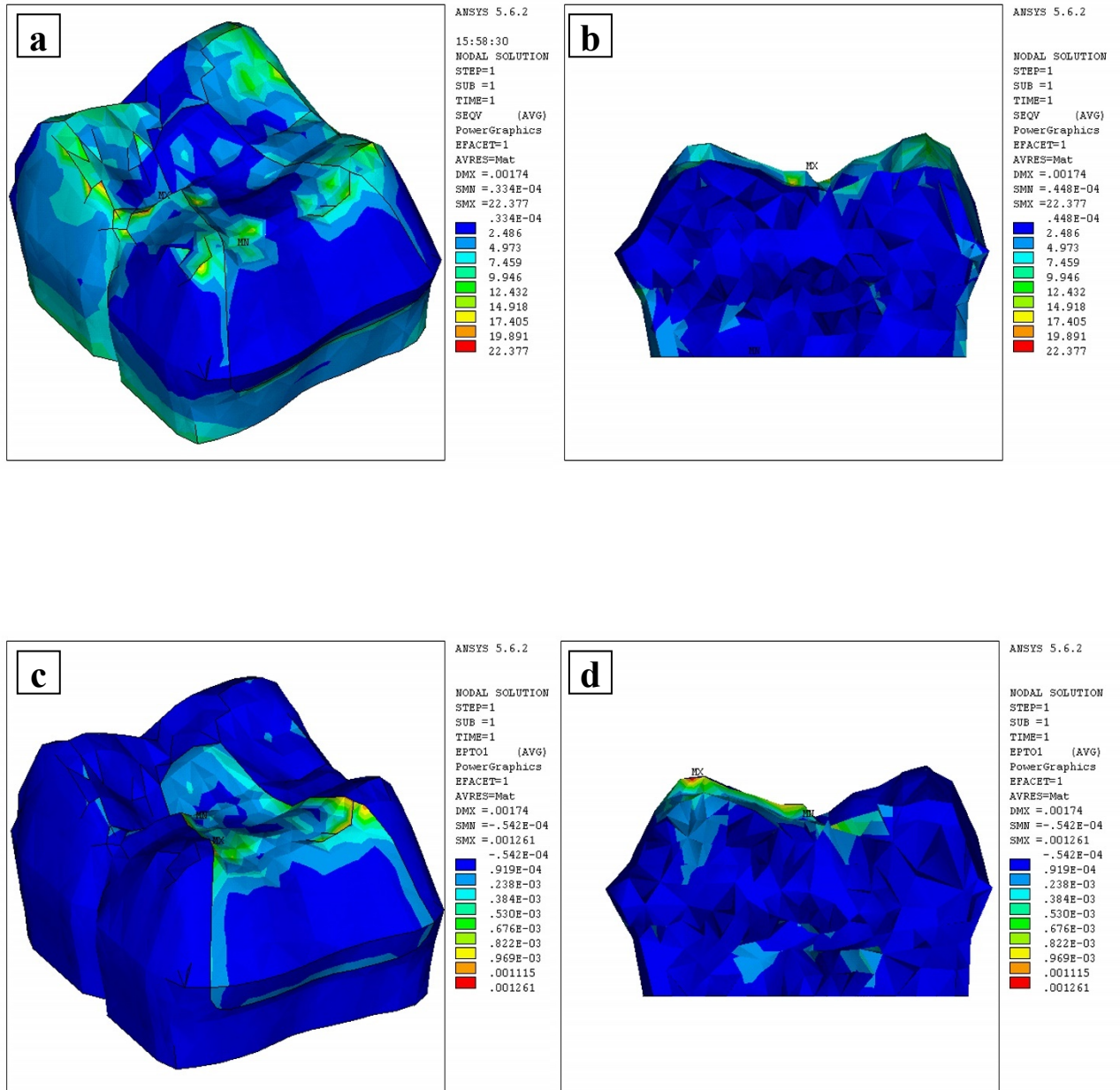
Rycina 11 Wartości oraz lokalizacja w zębie trzonowym z wypełnieniem I klasy (kompozyt Filtek Z250, metoda insertowa) naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej HMH (δ_{HMH}) [MPa]: a) widok ogólny; b) przekrój policzkowo-językowy oraz odkształceń głównych (ϵ_1) [wartość bezwymiarowa]: c) widok ogólny; d) przekrój policzkowo-językowy



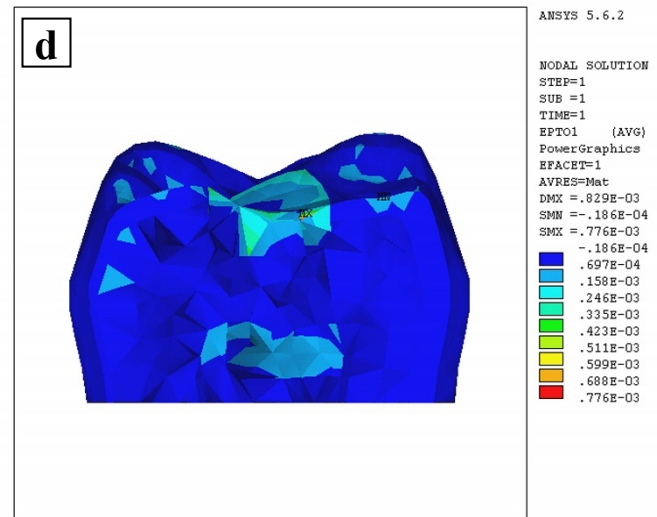
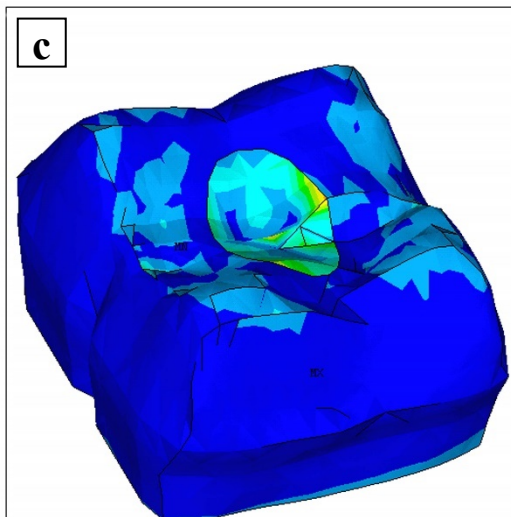
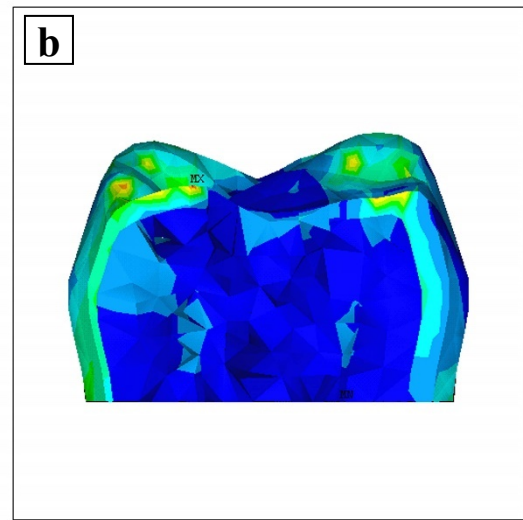
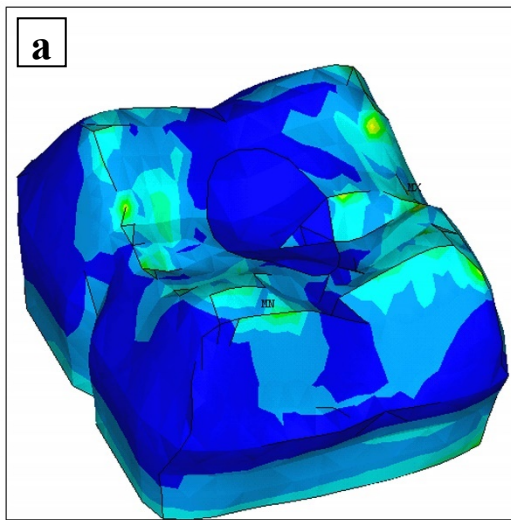
Rycina 12 Wartości oraz lokalizacja w zębie trzonowym z wypełnieniem II klasy (kompozyt Filtek Z250, metoda konwencjonalna) naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej HMH (δ_{HMH}) [MPa]: a) widok ogólny; b) przekrój policzkowo-językowy oraz odkształceń głównych (ϵ_1) [wartość bezwymiarowa]: c) widok ogólny; d) przekrój policzkowo-językowy



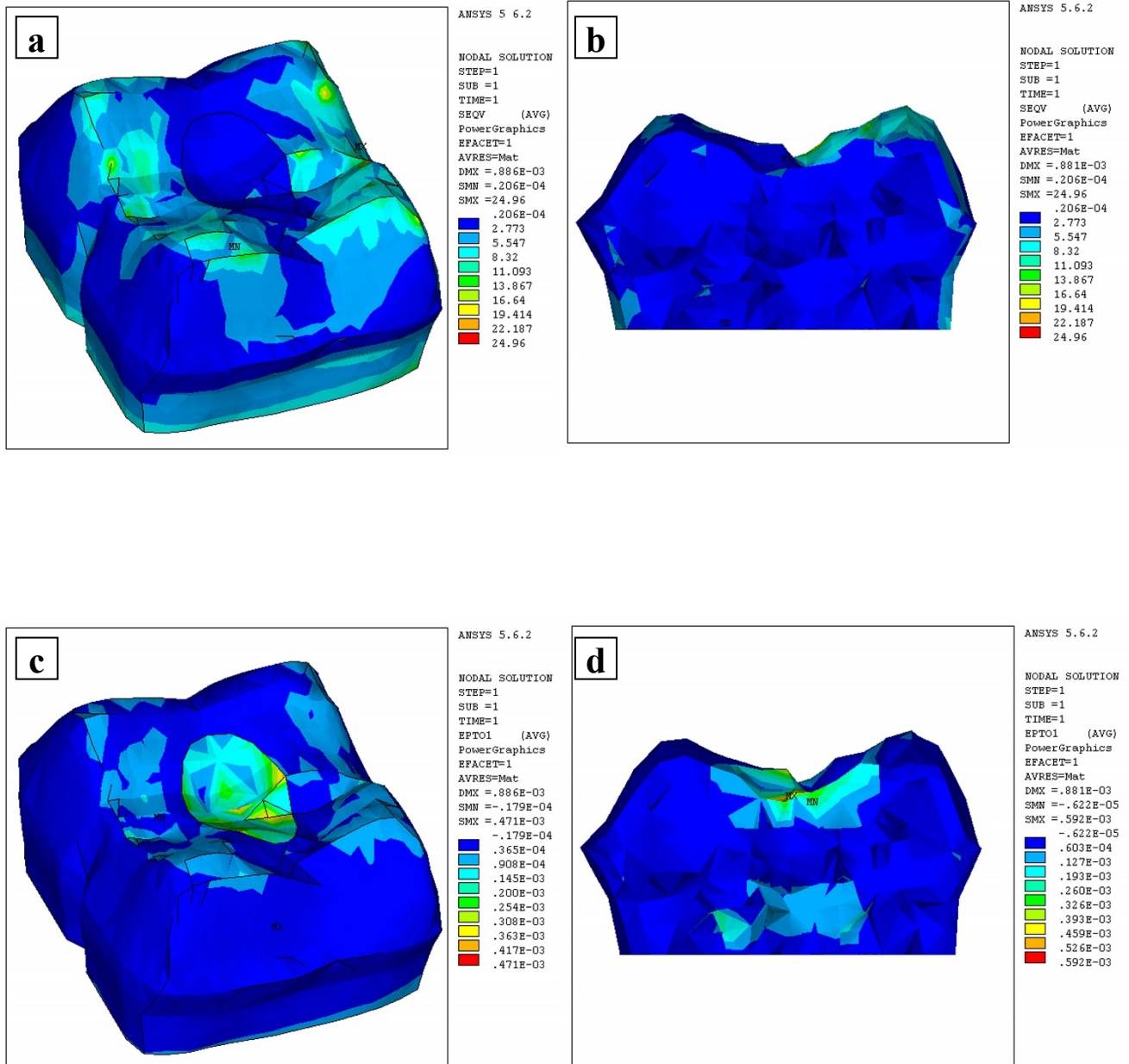
Rycina 13 Wartości oraz lokalizacja w zębie trzonowym z wypełnieniem II klasy (kompozyt Filtek Z250, metoda insertowa) naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej HMH (δ_{HMH}) [MPa]: a) widok ogólny; b) przekrój policzkowo-językowy oraz odkształceń głównych (ϵ_1) [wartość bezwymiarowa]: c) widok ogólny; d) przekrój policzkowo-językowy



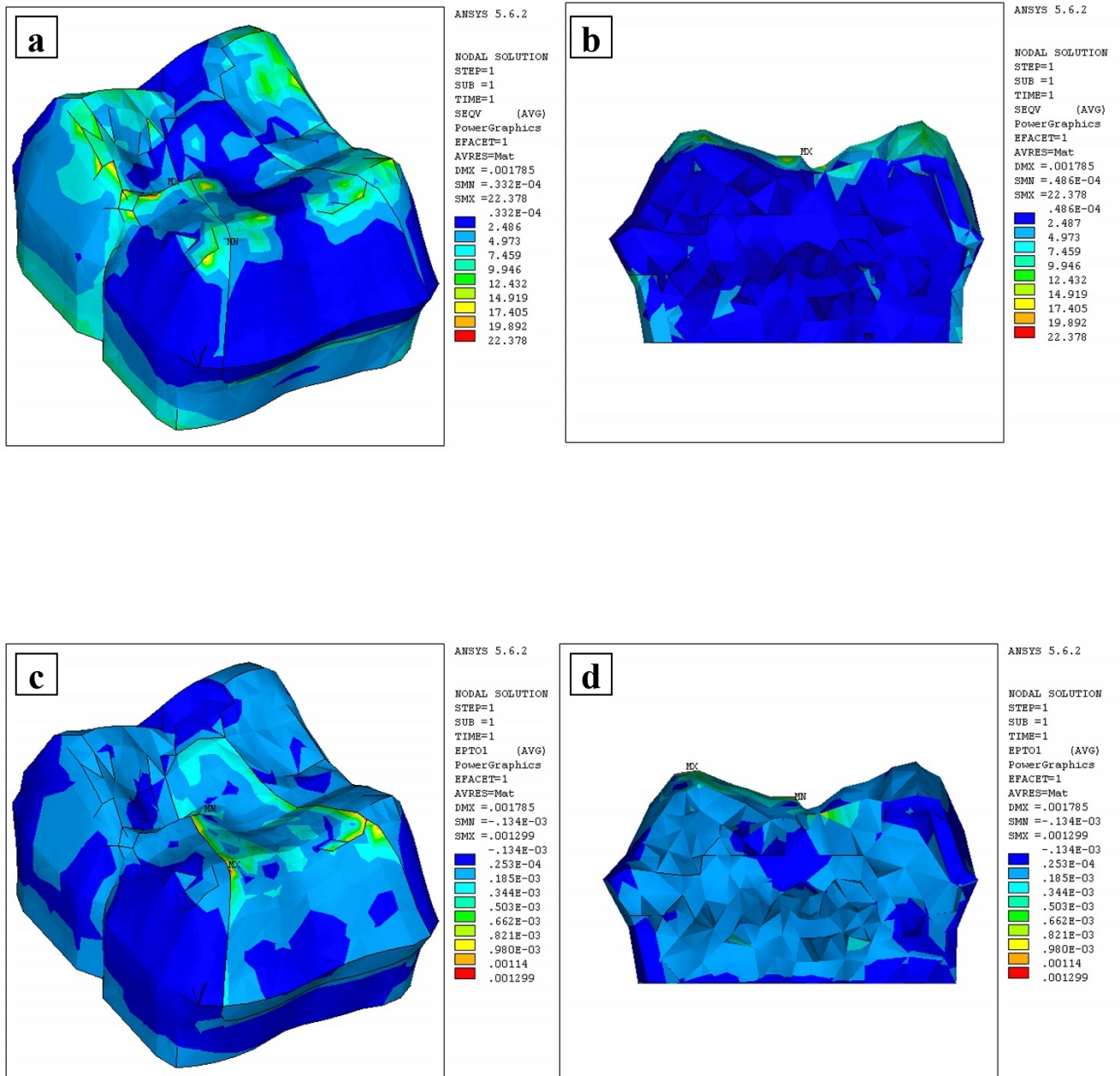
Rycina 14 Wartości oraz lokalizacja w zębie trzonowym z wypełnieniem I klasy (kompozyt Gradia, metoda konwencjonalna) naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej HMH (δ_{HMH}) [MPa]: a) widok ogólny; b) przekrój policzkowo-językowy oraz odkształceń głównych (ϵ_1) [wartość bezwymiarowa]: c) widok ogólny; d) przekrój policzkowo-językowy



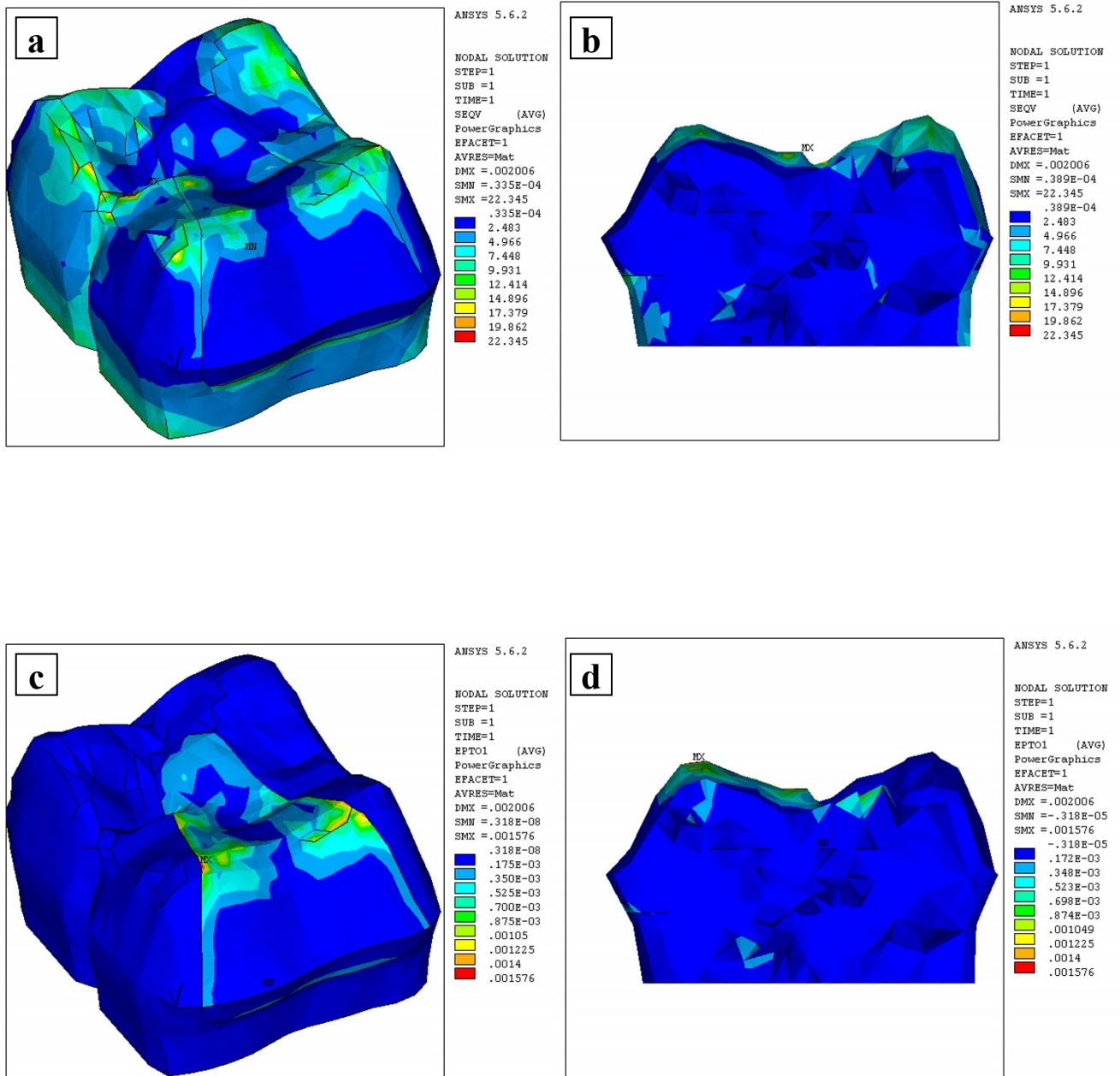
Rycina 15 Wartości oraz lokalizacja w zębie trzonowym z wypełnieniem I klasy (kompozyt Gradia, metoda insertowa) naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej HMH (δ_{HMH}) [MPa]: a) widok ogólny; b) przekrój policzkowo-językowy oraz odkształceń głównych (ϵ_1) [wartość bezwymiarowa]: c) widok ogólny; d) przekrój policzkowo-językowy



Rycina 16 Wartości oraz lokalizacja w zębie trzonowym z wypełnieniem II klasy (kompozyt Gradia, metoda konwencjonalna) naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej HMH (δ_{HMH}) [MPa]: a) widok ogólny; b) przekrój policzkowo-językowy oraz odkształceń głównych (ϵ_1) [wartość bezwymiarowa]: c) widok ogólny; d) przekrój policzkowo-językowy



Rycina 17 Wartości oraz lokalizacja w zębie trzonowym z wypełnieniem II klasy (kompozyt Gradia, metoda insertowa) naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej HMH (δ_{HMH}) [MPa]: a) widok ogólny; b) przekrój policzkowo-językowy oraz odkształceń głównych (ϵ_1) [wartość bezwymiarowa]: c) widok ogólny; d) przekrój policzkowo-językowy



Rycina 18 Wartości oraz lokalizacja w zdrowym zębie trzonowym naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej HMM (δ_{HMH}) [MPa]: a) widok ogólny; b) przekrój policzkowo-językowy oraz odkształceń głównych (ϵ_1) [wartość bezwymiarowa]; c) widok ogólny; d) przekrój policzkowo-językowy

