

Laseroe „wiercenie”

Lasery Er:YAG (erbowy) jest uznawany za stomatologiczny laser z wyboru do skutecznej, precyzyjnej i minimalnie inwazyjnej ablacji w twardych tkankach zęba. Długość promieniowania lasera Er:YAG równa 2,94 μm cechuje się najwyższą absorpcją w wodzie i w hydroksyapatycie (patrz rys. 1) wśród wszystkich dostępnych laserów pracujących w spektrum podczerwieni. Tym samym jest on optymalnym laserem do laserowego opracowywania szkliwa, zębiny oraz wypełnień kompozytowych.



FOT. FOTONA

Lasery stomatologiczne wczesnej standardowej technologii nie zostały zaakceptowane przez środowisko stomatologiczne, ponieważ ich prędkości opracowywania ubytków były znacznie niższe niż wiertła mechanicznych. Ta opinia zmieniła się wraz z wprowadzeniem laserów stomatologicznych, które przy wykorzystaniu technologii VSP (VSP – Variable Square Pulse, zmienne impulsy kwadratowe), umożliwiają generowanie bar-

dzo krótkich impulsów z możliwością regulacji ich czasu trwania. Testy potwierdziły, że prędkość ablacji w technologii VSP dla laserów Er:YAG jest porównywalna do prędkości uzyskiwanych za pomocą metod klasycznych.

Nowoczesne systemy wykorzystane w najnowszej generacji laserów Er:YAG z trybem zmiennych impulsów kwadratowych (VSP) posiadają dwie szczególne opcje, tj. tryb SSP (Super Short Pulse – super krótkie impulsy), przeznaczony do

bardzo precyzyjnej i minimalnie inwazyjnej ablacji laserowej oraz tryb MAX, umożliwiające uzyskanie maksymalnych prędkości opracowywania laserowego.

Celem niniejszego badania in vitro było porównanie skuteczności i bezpieczeństwa nowych trybów VSP laserem Er:YAG podczas terapii tkanek twardych zęba ze skutecznością leczenia za pomocą klasycznej kątницы stomatologicznej.

Porównanie uzyskanych czasów wykazało istotną różnicę między prędkością borowania laserem Er:YAG w trybie MAX a prędkościami opracowywania z zastosowaniem kątницы stomatologicznej

Materiały i metody

Wykonano eksperymenty wykorzystując najnowszej generacji laser stomatologiczny LightWalker AT Er:YAG VSP (produkowany przez firmę Fotona d.d.). Stosowano następujące tryby impulsowe: VLP – 1000 μ s, LP – 500 μ s, SP – 300 μ s, VSP – 100 μ s, SSP – 50 μ s oraz tryb MAX. Do zogniskowania wiązki lasera w ludzkim zębie po ekstrakcji stosowano bezkontaktową głowicę Fotona H02 C. Średnica plamki wiązki lasera w zębie wynosiła 0,9 mm.

W pierwszej grupie prowadzonych eksperymentów (oceniających skuteczność pojedynczych impulsów) mierzono skuteczność borowania laserowego za pomocą pojedynczych impulsów podczas równoczesnego stosowania rozpylacza wodnego i niskiej wartości energii pojedynczego impulsu. Energia była na poziomie 100 mJ, a częstotliwość wynosiła około 1Hz w różnych trybach impulsów laserowych (czasy trwania).

W drugiej grupie doświadczeń (eksperymenty oceniające prędkość borowania) mierzono czas wymagany, aby całkowicie przeciąć 2 mm odcinek korzenia zęba. Pomiary wykonywano dla piętnastu próbek zębów usuniętych u osób dorosłych. Próbkę cięto na skrawki o grubości 2 mm. Borowanie w zębinie przeprowadzono przy użyciu lasera działającego w trybie MAX z wysoką częstotliwością 20 Hz i z pomocą rozpylacza wodnego. Zmierzony czas porównywano z wcześniej opublikowanymi wynikami badań, dotyczącymi borowania mechanicznego w podobnych warunkach chirurgiczną kątnicą redukcyjną Intra 3614 N firmy KaVo z redukcją 4:1, o obrotach 7500/min, z wiertłami szczelinowymi o rozmiarze 12 zgodnie z normami ISO.

Za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego wykonano również fotografie otworów po ablacji w twardych tkankach zęba w trybie MAX laserem Er:YAG.

Wyniki

Eksperyment dotyczący skuteczności pojedynczego impulsu.

Na rysunku 2 przedstawiono poprzednio opublikowane dane dotyczące zależności między wydajnością ablacji a czasem trwania impulsu lasera Er:YAG. Stosowano następujące tryby impulsów laserowych lasera lasera LightWalker: VLP – 1000 μ s, LP – 500 μ s, SP – 300 μ s, VSP – 100 μ s i najnowszy – SSP – 50 μ s. Wykres przedstawia (rys. 2), że skuteczność ablacji wzrasta wraz ze skróceniem czasu trwania impulsów. Najbardziej wydajny i skuteczny okazał się nowy tryb SSP – SUPER SHORT PULSE (super krótkie impulsy), w którym efekty wydajności i redukcji, efekt dyfuzji cieplnej oraz efekt kontroli resztek są zminimalizowane. Poza tym, stosując impulsy w trybie SSP, rozpraszanie promieniowania laserowego w powstających resztkach tkanek jest minimalne, a jakość i precyzja otworów opracowanych laserowo ulegają znaczącej poprawie.

Eksperyment z prędkością borowania

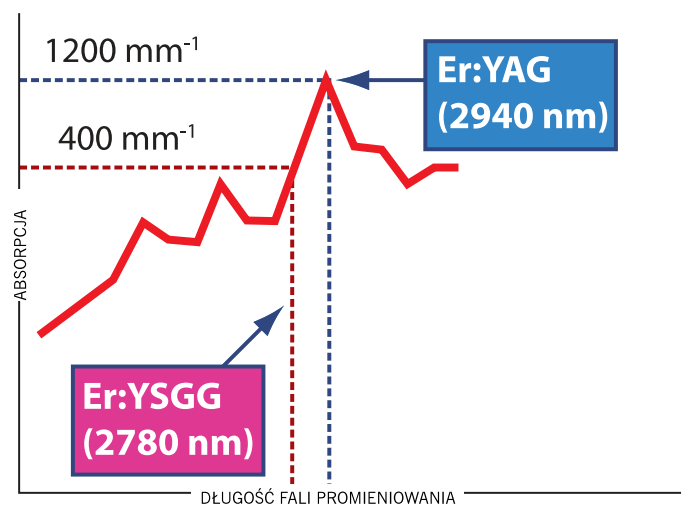
Porównanie uzyskanych czasów wykazało istotną różnicę między prędkością borowania laserem Er:YAG w trybie MAX a prędkościami opracowywania z zastosowaniem kątnicy stomatologicznej (rys.3).

Ocena w skaningowym mikroskopie elektronowym

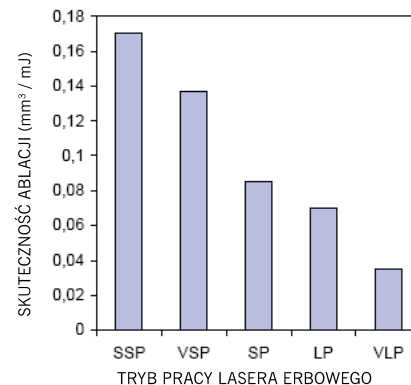
Obrazy w skaningowym mikroskopie elektronowym otworów powstałych w trakcie ablacji w twardych tkankach zęba za pomocą lasera Er:YAG w trybie MAX wykazały brak pęknięć lub cech uszkodzeń natury termicznej (rys. 4).

Dyskusja

Olbrzymi postęp w zakresie teoretycznego zrozumienia procesu ablacji laserowej tkanek



Rys. 1. Laser Er:YAG (2,94 μ m) cechuje się najwyższą absorpcją w wodzie i w hydroksyapatycie. Innym laserem, który emituje promieniowanie w spektrum około 3 μ m, jest laser Er:YSGG (2,78 μ m), jednak laser ten cechuje się o 300% niższą absorpcją i tym samym mniej nadaje się do laserowego opracowywania ubytków.



Rys. 2. Skuteczność ablacji w zębinie dla różnych trybów czasu trwania impulsu lasera Er:YAG (2,94 μ m), według opublikowanych danych. Tryb SSP lasera Er:YAG cechuje się najwyższą skutecznością ablacji pojedynczych impulsów.

Rys. 3. Zębina - porównanie czasów uzyskanych za pomocą kątnicy stomatologicznej oraz lasera Er:YAG w trybie MAX. Potwierdzono, że tryb MAX jest szybszy niż opracowywanie z zastosowaniem kątnicy stomatologicznej.

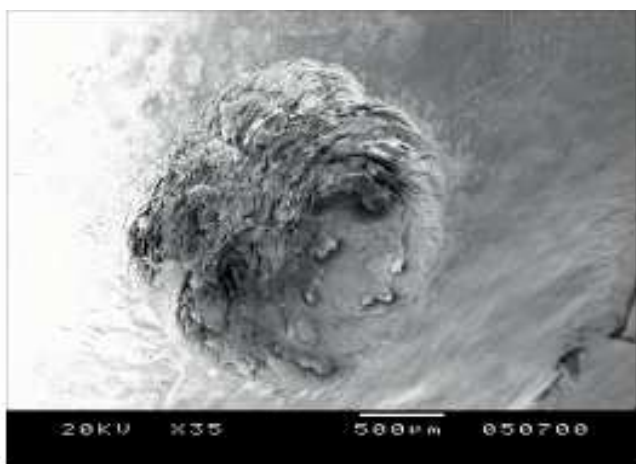
	Kątnica stomatologiczna5	Tryb MAX lasera
Czas (s)	3,6	2,2
SD (odchylenie standardowe)	0,95	0,54

biologicznych przyczynił się do gwałtownego rozwoju technologicznego stomatologii laserowej.

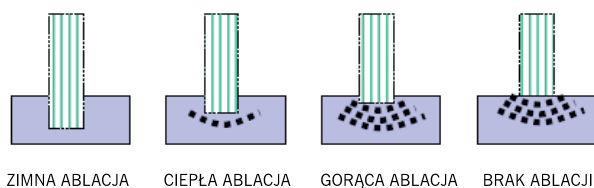
Obecnie uznaje się, że dostępne są cztery schematy ablacji (patrz rys. 5), które zależą od relacji między czasem trwania impulsu lasera a energią impulsu (lub ściślej – fluencją lasera, tzn. energią lasera przy-

padającą na powierzchnię wyrażoną w J/cm^2).

Przy wysokich wartościach energii i krótkim czasie trwania impulsów prędkość ablacji jest wyższa niż dyfuzja energii cieplnej w głąb tkanki w przypadku zużycia całej energii w zimnej ablacji. Wraz ze zmniejszaniem wartości energii i/lub wydłużeniem czasu trwania impulsu,



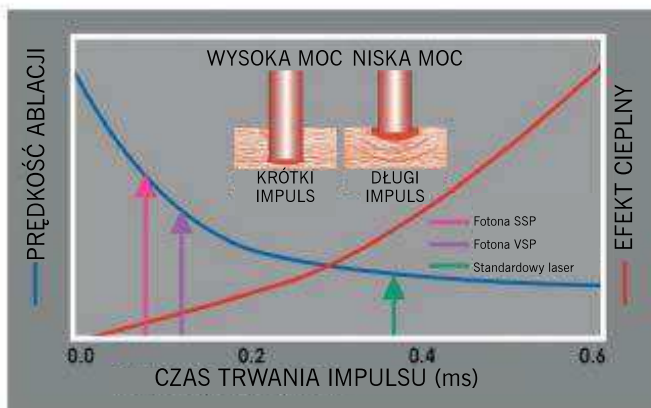
Rys. 4. Przykład otworu w szklivię po ablacji za pomocą lasera Er:YAG w trybie MAX. Nie zauważono pęknięć ani cech uszkodzenia termicznego.



Rys. 5. Schematyczny przegląd czterech schematów ablacji.

Rys. 6. Dostępne czasy trwania impulsów w systemach laserowych Er:YAG (Fidelis Plus III, Fotona) i Er,Cr:YSGG (Waterlase MD, Biolase).

TRYB IMPULSOWY	CZAS TRWANIA IMPULSU
Er:YAG (Fidelis Plus III)	
SSP	80 µs
VSP	150 µs
SP	200 µs
LP	500 µs
VLP	800 µs
Er,Cr:YSGG (Waterlase MD)	
H	600 µs
S	1200 µs



Rys. 7. Przy trzymaniu niezmienną wartości energii impulsu, wzrasta skuteczność ablacji, a efekty cieplne zmniejszają się wraz z coraz krótszym czasem trwania impulsu. Ze względu na długi czas krzyżowej relaksacji jonu Cr³⁺, laser Er,Cr:YSGG nie jest w stanie działać poniżej około 500 µs.

warstwa tkanki, w której zachodzą zmiany cieplne do zakończenia impulsu, ulega pogrubieniu. Efekty cieplne stają się wyraźniejsze, a równocześnie skuteczność ablacji zostaje znacząco zredukowana (ciepła ablacja, a przy niższych wartościach energii gorąca ablacja). W przypadku podprogowej wartości energii ablacja nie występuje (brak ablacji), a w następstwie całość energii ulega rozproszeniu pod postacią ciepła, niezależnie od czasu trwania impulsu lasera.

Należy pamiętać, że zmniejszając energię lasera, aby poprawić bezpieczeństwo pracy, operator może osiągnąć dokładny odwrotny efekt od zamierzonego, tzn. dojdzie do silniejszych efektów cieplnych w tkance. Istotnym czynnikiem, który można wykorzystać do określenia wpływu energii lasera na tkankę zęba jest liczba Pecleta lub Liczba Laser-Tkanka (Laser-Tissue-Number – LTN). LTN definiuje poniższy wzór:

$LTN = \text{natężenie mocy lasera} \times LTF$,
gdzie:

natężenie mocy lasera = fluencja lasera / czas trwania impulsu laserowego,

a LTF (tkankowy współczynnik laserowy) jest stałym współczynnikiem, uzależnionym od długości fali promieniowania laserowego oraz poszczególnych fizycznych właściwości tkanki zębów:

$LTF = 0,5 \times \text{współczynnik absorpcji lasera} \times \text{czas relaksacji termicznej tkanki} / \text{specyficzne ciepło ablacji}$

W przypadku fluencji lasera powyżej progu ablacji zimna ablacja charakteryzuje się wartością $LTN > 1$.

Aby uzyskać zimną ablację, osoba obsługująca musi wybrać parametry lasera z $LTN > 1$. Jeżeli wybrany zostanie czas trwania poszczególnych pulsów tL, ablacja rozpocznie się przy progowej wartości energii. Skuteczność ablacji rośnie wówczas wraz z rosnącą energią do momentu, gdy energia impulsu

przekroczy wartość, przy której $LTN > 1$. Powyżej tej wartości efekt ablacji jest najbardziej skuteczny, najczęściej ma charakter „zimnej ablacji” i wzrasta liniowo wraz ze wzrostem energii promieniowania laserowego.

Aby leczenie było precyzyjne i dokładne przy niskich wartościach energii, impulsy lasera muszą być odpowiednio krótkie, aby wartość LTN była większa od 1. Najbezpieczniejszy jest schemat, w którym czas trwania impulsów jest krótszy niż czas relaksacji tkanki. W takiej sytuacji nie zachodzi ablacja ciepła ani gorąca. W przypadku szklivię czas relaksacji termicznej wynosi około 100 µs.

Z drugiej strony, gdy pożądana jest wysoka prędkość ablacji, najlepsze jest wykorzystanie wysokich energii impulsu i dłuższych czasów trwania impulsu, co daje pewność, że wartość LTN będzie wyraźnie powyżej 1. Wynika to z innego efektu, który wpływa na dynamikę ablacji – kontroli resztek, czyli absorpcji i rozpraszania energii lasera w cząsteczkach wyrzucanych z miejsca prowadzenia ablacji. Poziom kontrolę resztek zależy od ich zagęszczenia i jest najwyższy w przypadku wysokich wartości LTN. Ponieważ gęstość resztek zależy od natężenia wiązki laserowej, korzystne jest uzyskanie $LTN > 1$ przy dłuższych czasach trwania impulsu, tzn. w przypadku niższego natężenia wiązki lasera.

Lasery najnowszej generacji Er:YAG z trybem VSP umożliwiają operatorowi wybór następujących trybów: SSP (super krótkie impulsy: 50 µs), VSP (bardzo krótkie impulsy: 120 µs), SP (krótkie pulsy: 300 µs), LP (długie impulsy: 600 µs) i VLP (bardzo długie impulsy: 1000 µs).

Czas trwania impulsów w trybie SSP jest niezmiernie krótki, wynosi około 50 µs. Wartość ta znajduje się poniżej czasu relaksacji szklivię, który wynosi 100 µs. Impulsy SSP są zatem najlepiej dostosowane do precyzyj-

nej i dokładnej ablacji przy niskiej energii lasera.

W przypadku standardowej pracy zalecane są impulsy VSP i SP z wartością LTN powyżej 1, podczas gdy w przypadku maksymalnych prędkości ablacji najlepszy jest tryb MAX. Zapewnia on wartość LTN > 1 poprzez ustabilizowanie wartości energii promieniowania laserowego i czasu trwania impulsu na optymalnych, wysokich poziomach, równych odpowiednio 1000 mJ i 30 μ s.

W przypadku zastosowań w obrębie tkanek miękkich, kiedy pożądana jest koagulacja termiczna, najlepsze są tryby LP i VLP.

Porównanie laserów Er:YAG i Er,Cr:YSGG

Ponieważ współczynnik absorpcji promieniowania lasera Er,Cr:YSGG jest trzykrotnie niższy niż lasera Er:YAG, zakres bezpiecznych parametrów, które można wykorzystać stosując ten laser, jest istotnie mniejszy. Energia progowa ablacji jest zatem trzy razy wyższa.

Po drugie, zakres czasów trwania impulsów lasera Er,Cr:YSGG jest ograniczony wyłącznie do czasów dłuższych. Pod tym względem korzystniejszy jest laser Er:YAG, ponieważ oferuje różne szerokości impulsów, tj. aż do 50 μ s, podczas gdy laser Er,Cr:YSGG – ze względu na długi czas relaksacji krzyżowej jonu Cr³⁺ – jest ograniczony do minimalnej szerokości impulsu, równej około 500 μ s. Aby zilustrować te ograniczenia, na rysunku 6 przedstawiono czasy trwania impulsu systemu laserowego Er:YAG (LightWalker AT, Fotona) oraz systemu laserowego Er,Cr:YSGG (Waterlase MD, Biolase). Należy pamiętać, że system laserowy Waterlase MD wykorzystuje względnie krótkie powtarzalne impulsy trwające tylko 140 ms w trybie H i odpowiednio 700 μ s w trybie S. Pomimo tego, że względu na obecność jonów Cr³⁺ w kryształach lasera Er,Cr:YSGG, generowane

impulsy lasera są o wiele dłuższe i w trybie H (trybie najkrótszych impulsów tego lasera) trwają około 600 μ s, natomiast w trybie S (dłuższych impulsów) – około 1200 μ s.

Jednym z kluczowych czynników, które warunkują rodzaj oraz skuteczność wybranej ab-

stosowania w obrębie tkanek twardych. Z drugiej strony, laser Er:YAG, w szczególności, gdy stosowany jest w trybie powtarzalnych impulsów VSP, może działać w odpowiednio dostosowanych czasach trwania impulsu – od super krótkich impulsów (SSP), które idealnie nadają

impulsów, a równocześnie dochodzi do uwalniania najniższych wartości energii cieplnej.

Jeżeli wymagane są maksymalne prędkości borowania laserowego, stwierdzono, że najbezpieczniejszym i najszybszym narzędziem do wykorzystania w laserowej stomatologii



FOT. IDS

Jednym z kluczowych czynników, które warunkują rodzaj oraz skuteczność wybranej ablacji laserowej, jest czas trwania impulsu laserowego.

lacji laserowej, jest czas trwania impulsu laserowego. Jeżeli wymagana wartość energii jest dostarczana w krótkim czasie, wówczas jest niewiele czasu, aby energia mogła wydostać się z objętości tkanki poddanej ablacji, a tym samym mniej ciepła ulega dyfuzji do otaczających tkanek (patrz rys. 7).

Na podstawie rozważań dotyczących długości fali promieniowania laserowego i czasu trwania impulsu wykazano, że laser Er,Cr:YSGG nadaje się do zastosowań w obrębie tkanek miękkich, gdzie pożądana jest pewnego stopnia działania termiczne o charakterze koagulacji, ale ma wiele ograniczeń w przypadku

się do precyzyjnej ablacji tkanek twardych do bardzo długich impulsów (VLP) w przypadku procedur wykonywanych w tkankach miękkich (patrz rys. 6).

Wnioski

W przypadku precyzyjnych procedur w tkankach twardych (gdzie stosuje się niskie wartości energii impulsu) stwierdzono, że tryb SSP - z czasem trwania impulsu krótszym niż czas relaksacji tkanek twardych (i LTN > 1) - jest najlepszym i najbezpieczniejszym trybem działania. Podyktowane jest to faktem, że w tym trybie osiąga się najwyższą wydajność borowania w trybie pojedynczych

tkanek twardych jest tryb MAX. Borowanie laserowe w trybie VSP MAX jest 1,6 razy szybsze niż dotychczas opublikowane prędkości borowania, uzyskane za pomocą standardowych kątnic stomatologicznych.

Dzięki dwóm nowym trybom – SSP i MAX – udało się wreszcie uzyskać pierwotnie zakładane cele w zakresie stosowania laserów dentystycznych – zastąpienie wiertel mechanicznych bardziej precyzyjną i mniej inwazyjną technologią laserową, bez pogorszenia bezpieczeństwa, łatwości użycia i prędkości działania.

Literatura

- Matjaz Lukac¹, Marko Marinček¹, Ladislav Grad², Zelimir Božić³
- 1 Research Associate, Institute Jozef Stefan, Ljubljana, Slovenia
- 2 Research Associate, Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana, Slovenia
- 3 Fidelitas Dental Practice, Postojna, Slovenia

Leczenie endodontyczne przy użyciu metody PIPS®

Co to jest PIPS®?

PIPS® (Photon Induced Photoacoustic Streaming) stanowi rewolucyjną metodę czyszczenia i dezynfekcji kanałów korzeniowych, przy użyciu energii lasera Er:YAG pracującego w trybie subablacyjnym.

Więcej informacji dotyczących PIPS® na stronie: www.btlnet.pl.

W jaki sposób działa metoda PIPS® ?

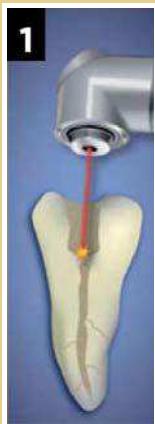
PIPS® wykorzystuje energię lasera Er:YAG w celu wytworzenia fali fotoakustycznej, rozchodzącej się w roztworze czyszczącym, wprowadzonym do kanału. Fale uderzeniowe powodują przepłukanie kanału korzeniowego na całym jego przebiegu oraz w obrębie jego ewentualnych odgałęzień. Kanały zostają po zabiegu w pełni oczyszczone, natomiast powierzchnia jest wolna od warstwy mazistej.



Końcówkę PIPS® umieszcza się jedynie w części koronowej zęba.

Zaostrzona końcówka PIPS® tip z usuniętą osłoną (zgłoszony wniosek patentowy) optymalizuje propagację fali uderzeniowej przy pracy w trybie subablacyjnym.

W jaki sposób PIPS® stosuje się w leczeniu kanałowym?



1 (1) Uzyskanie dostępu do kanału. Otwarcie zęba laserem Er:YAG – standardowa procedura przed leczeniem kanałowym.



2 (2) Obróbka kanału pilnikiem ISO #20. Ten etap odbywa się zgodnie z wytycznymi w standardowym leczeniu kanałowym, jednakże proces kończy się na etapie obróbki pilnikiem ISO #20. Nie jest konieczne dalsze usuwanie innych struktur zęba, dzięki czemu zachowywana jest jego integralność.



3 (3) Wykonanie zabiegu laserowego w kanale. W tym etapie wykorzystujemy dedykowaną końcówkę PIPS® oraz 15% roztwór EDTA oraz NaClO. Ciśnienie wytworzone przez zjawisko fotoakustyczne powoduje wtłoczenie roztworu nawet w najmniejsze odgałęzienia boczne kanałów, zapewniając nieosiągalną – do tej pory – skuteczność dezynfekcji. W części końcowej zabiegu (płukanie systemu kanałów korzeniowych) używana jest woda.



4 (4) Zamknięcie kanału. Zamknięcie kanału jest dokonywane w tradycyjny sposób. Metoda PIPS® jest doskonała w połączeniu z nowoczesnymi wypełnieniami żywicowymi. Zamknięcie kanału jest dokonywane w tradycyjny sposób. Metoda PIPS® jest doskonała w połączeniu z nowoczesnymi wypełnieniami żywicowymi.