

# TU i TERAZ Technologie oraz Ai stosowane w ortodoncji

– od danych CBCT do bezpiecznego leczenia ortodontycznego, w tym także alignerowego



mgr inż. Tomasz Janikowski, mgr inż. Tomasz Stefańczyk

mgr inż. Tomasz Janikowski – autor i współautor około 30 publikacji w czasopismach branżowych (stomatologicznych oraz ortodontycznych), wykładowca oraz prezynter treści o tematyce techniki dentystycznej i zastosowania rozwiązań cyfrowych w ortodoncji, od 1999 roku współtwórca i szef projektu Cyfrowych Modeli Ortodontycznych, wieloletni uczestnik prac badawczo-rozwojowych dotyczących rozwiązań cyfrowych dla ortodoncji, w tym w zakresie sztucznej inteligencji, współwłaściciel laboratorium ortodontycznego Ortolab Sp. z o.o.

mgr inż. Tomasz Stefańczyk – w latach 1999–2014 redaktor naczelny czasopisma naukowego punktowanego w KBN i Index Copernicus „Moja Praktyka”, poświęconego ortodoncji, wykładowca i prezynter podczas krajowych i zagranicznych szkoleń oraz konferencji i spotkań naukowych. Autor i współautor publikacji naukowych. Pomysłodawca (1999 rok) i współtwórca technologii Cyfrowych Modeli Diagnostycznych. Producent rozwiązań informatycznych oraz CAD/CAM stosowanych obecnie w specjalnościach i w zakresie takich dziedzin, jak: ortodoncja, chirurgia szczękowa oraz implantologia w Polsce i za granicą. Uczestnik prac R&D nad rozwijanymi obecnie rozwiązaniami w kierunku korzystania z technologii sztucznej inteligencji w stomatologii. Uczestnik szkoleń Szkoły Finansów i Zarządzania przy CPMF Rozwoju Rynku Kapitałowego i Przekształceń Własnościowych w RP. Właściciel firmy Polorto Tomasz Stefańczyk. Współwłaściciel największego i jedyne certyfikowanego ISO laboratorium ortodontycznego w Polsce – Ortolab Sp. z o.o.

Cyfrowa transformacja stomatologii przestała być zapowiedzią przyszłości. Współczesna ortodoncja coraz częściej opiera się na pracy z danymi trójwymiarowymi oraz na narzędziach wspieranych przez sztuczną inteligencję. Największa zmiana nie dotyczy jednak samej technologii, lecz sposobu myślenia o leczeniu. Ortodoncja przestaje być odosobnioną specjalnością – staje się osiłą planowania leczenia interdyscyplinarnego, obejmującego: implantologię, chirurgię, protetykę oraz estetykę twarzy. To właśnie ortodoncja – jako najdłuższy etap terapii – w wielu przypadkach determinuje ostateczny efekt funkcjonalny i estetyczny leczenia.

Dzięki integracji danych diagnostycznych z różnych źródeł – CBCT, skanów wewnątrzustnych, modeli cyfrowych i analiz okluzji – możliwe jest dziś planowanie leczenia w sposób bardziej przewidywalny i biologicznie bezpieczny.

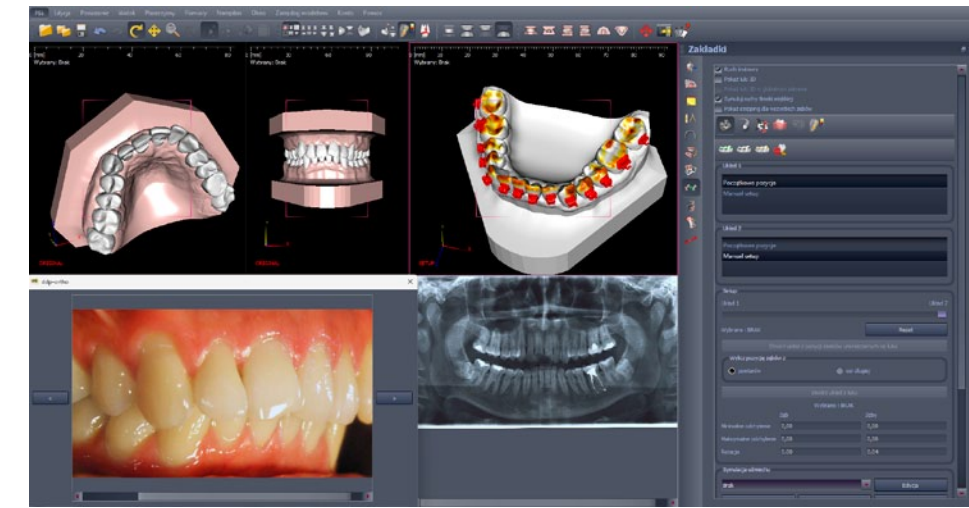
Rozwiązania takie jak: DDS-Pro, DDP AI, DDP-Ortho, DTS oraz Ortonet, rozwijane w Polsce w ramach platformy DDP Systems, tworzą jeden z najbardziej zaawansowanych ekosystemów cyfrowej stomatologii dostępnych obecnie w praktyce klinicznej. To nie wizja przyszłości. To rzeczywistość dostępna tu i teraz.

**Ortodoncja jako centrum projektowania okluzji** (choć zasady są takie same w każdej dziedzinie stomatologii)

Współczesna stomatologia coraz częściej opiera się na interdyscyplinarnym podejściu do pacjenta. Leczenie obejmuje dziś nie tylko ortodoncję, ale także: implantologię, chirurgię stomatologiczną i ortognatyczną, protetykę funkcjonalną oraz estetykę uśmiechu. Wspólnym mianownikiem tych specjalności pozostaje projektowanie okluzji.

„Cyfrowe planowanie leczenia pozwala nam dziś analizować okluzję w sposób, który jeszcze kilka lat temu był niemożliwy. Integracja danych CBCT, skanów wewnątrzustnych i planowania ortodontycznego pozwala budować leczenie w oparciu o rzeczywistą anatomię pacjenta, a nie jedynie o modele diagnostyczne”.  
lek. stom. Piotr Puchała

Właśnie w tym obszarze cyfrowe środowisko pracy zaczynają odgrywać kluczową rolę w komunikacji pomiędzy ortodontą, implantologiem, protetykiem oraz chirurgiem.



Fot. 1. Panel programu DDP Ortho

**CBCT i sztuczna inteligencja – fundament nowej diagnostyki**

Tomografia stożkowa CBCT stała się podstawowym narzędziem diagnostycznym w implantologii i chirurgii. Coraz większą rolę odgrywa również w ortodoncji. Największym wyzwaniem przez wiele lat była analiza ogromnej ilości danych tomograficznych. Algorytmy sztucznej inteligencji pozwalają dziś automatycznie segmentować struktury anatomiczne i tworzyć czytelne modele 3D. W środowisku DDS-Pro możliwe jest automatyczne wydzielenie z danych CBCT takich struktur jak:

- zęby wraz z korzeniami,
- szczęką i żuchwą,
- przebieg nerwu zębodołowego dolnego,
- struktury kostne czaszki.

Lekarz otrzymuje model anatomiczny, który można bezpośrednio wykorzystać w planowaniu leczenia ortodontycznego, implantologicznego lub chirurgicznego.

„Dla implantologa najważniejsze są bezpieczeństwo i przewidywalność planowania. Integracja

danych CBCT z planowaniem ortodontycznym pozwala projektować implantację w kontekście docelowej okluzji, a nie tylko lokalnych warunków kostnych”.  
dr n. med. Marek Milcarz

**Od skanu STL do zaawansowanego modelu diagnostycznego**

Standardowy skan wewnątrzustny przedstawia jedynie powierzchnie koron zębów. Technologia takie jak DDP AI pozwalają przekształcić skan w zaawansowany model diagnostyczny, który może być integrowany z danymi CBCT w środowisku DDP-Ortho. Dzięki temu możliwe jest jednocześnie analizowanie:

- koron zębów,
- rzeczywistego przebiegu korzeni,
- relacji zębów do kości,
- relacji okluzyjnych.

Tak przygotowany model stanowi podstawę planowania leczenia ortodontycznego oraz terapii interdyscyplinarnej.

**Smart Set-Up i koncepcja Andrewsa**

Jednym z najważniejszych elementów nowoczesnego planowa-

nia ortodontycznego jest Smart Set-Up koronowo-korzeniowy. W przeciwieństwie do tradycyjnego set-upu, który koncentrował się głównie na ustawieniu koron zębów, nowoczesne planowanie obejmuje również analizę położenia korzeni w kości. Algorytmy stosowane w środowisku DDP-Ortho opierają się na koncepcji Six Elements of Orofacial Harmony Lawrence'a F. Andrews. System obejmuje sześć elementów harmonii twarzowo-zębowej:

1. Six Keys to Normal Occlusion,
2. Arch Form,
3. Jaw Position,
4. Tooth Size and Shape,
5. Soft Tissue Balance,
6. Facial Aesthetics.

W tym ujęciu 6 kluczy Andrews stanowi jedynie pierwszy z sześciu elementów pełnej harmonii twarzy.

### Alignery i kontrola biomechaniki leczenia

Leczenie alignerowe jest jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów ortodontcji. Jego powodzenie zależy przede wszystkim od jakości planu leczenia.

Środowiska typu DDP-Ortho i DTS (Digital Technical Studio) umożliwiają projektowanie i produkcję alignerów w modelu *in-house*. Pozwala to lekarzowi kontrolować:

- trajektorię ruchów zębów,
- rozmieszczenie attachmentów,
- sekwencję przemieszczeń,
- planowanie IPR.

### Estetyka twarzy oraz cyfrowe projektowanie uśmiechu

Coraz większą rolę w planowaniu leczenia odgrywa również analiza estetyki twarzy. Cyfrowe środowiska pracy umożliwiają analizę:

- proporcji twarzy,
- symetrii uśmiechu,

Fot. 2. Środowiska typu DDP-Ortho i DTS (Digital Technical Studio) umożliwiają projektowanie i produkcję alignerów



- relacji między zębami i wargami,
- dynamiki uśmiechu.

*„Projektowanie uśmiechu przestało być wyłącznie kwestią estetyki. Dzięki cyfrowej analizie okluzji i proporcji twarzy możemy projektować leczenie w sposób znacznie bardziej przewidywalny i indywidualny dla każdego pacjenta”.*  
lek. dent. Maja Skrzyszewska

### Polska technologia cyfrowej stomatologii

W ostatnich latach obserwujemy dynamiczny rozwój technologii cyfrowych w stomatologii. Plat-

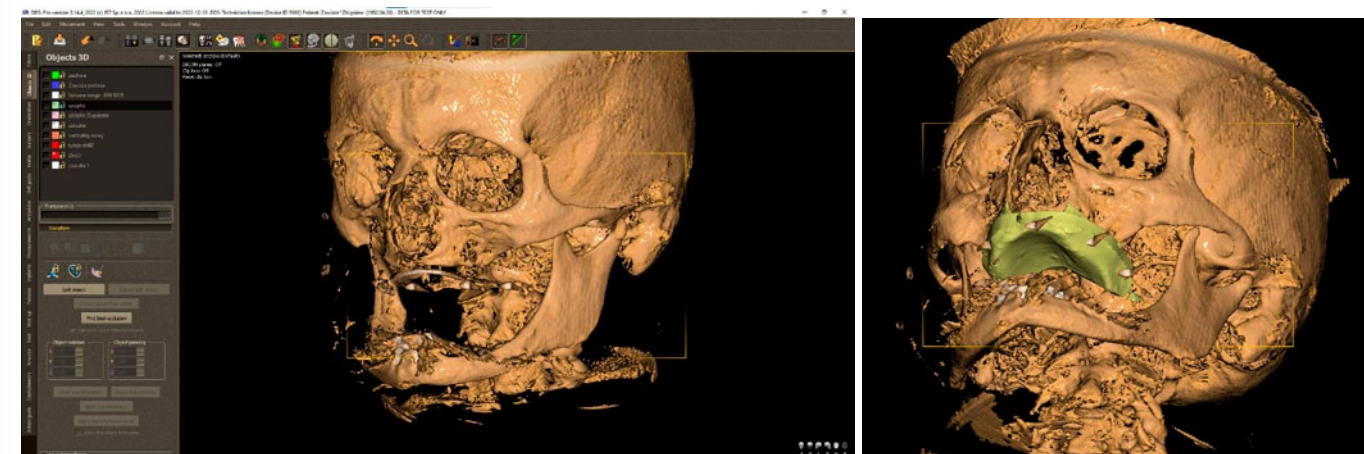
forma DDP Systems, obejmująca oprogramowanie DDS-Pro, DDP AI, DDP-Ortho, DTS oraz Ortonet, jest przykładem zaawansowanego ekosystemu cyfrowej stomatologii rozwijanego w Polsce. Integracja diagnostyki CBCT, planowania ortodontycznego, produkcji aparatów oraz zarządzania danymi pacjenta w jednym środowisku pozwala stworzyć pełny cyfrowy workflow stomatologiczny.

### Tu i teraz

Cyfrowa ortodontcja zmienia sposób planowania leczenia. Z kolei automatyczna segmentacja CBCT, modele diagnostyczne AI,

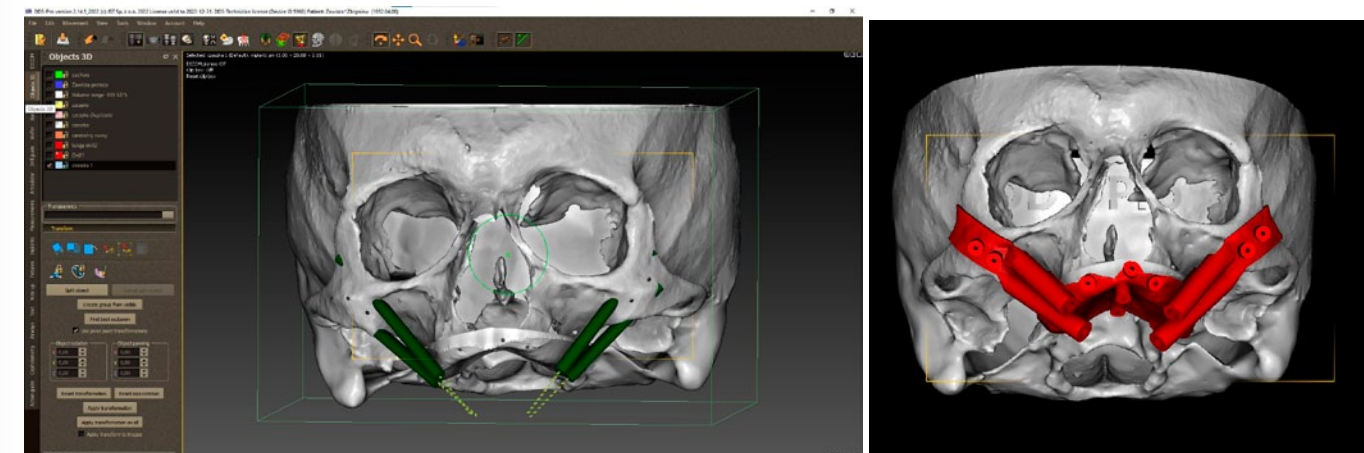


Fot. 3. Alignery



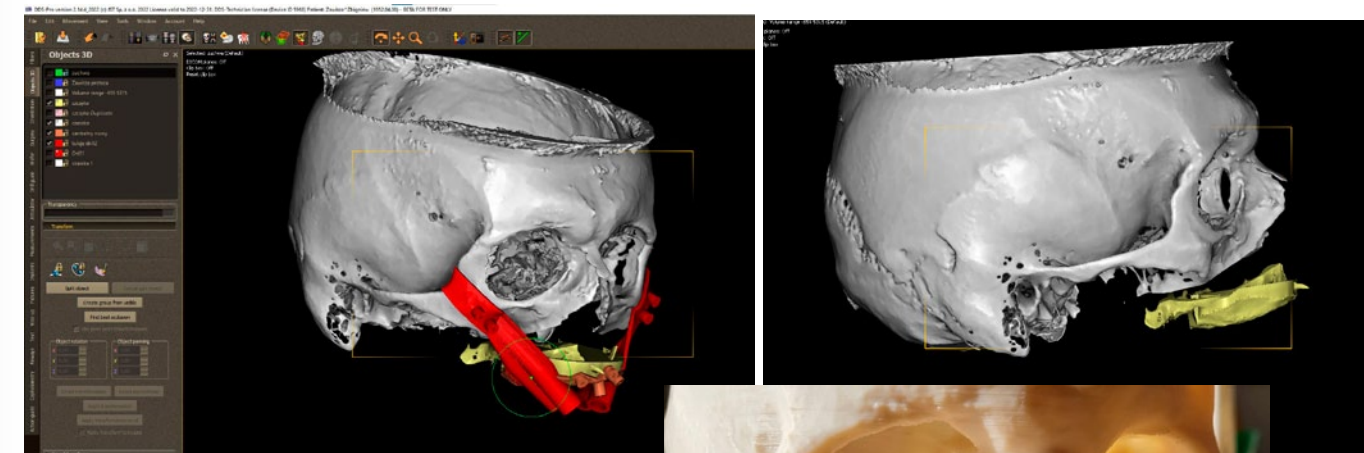
Fot. 4. CBCT z protezą ze znacznikami

Fot. 5. Odtworzenie kształtu podniebienia



Fot. 6. Zaplanowanie położenia implantów zygomatycznych

Fot. 7. Projekt szablonu do nawiercenia kości jarzmowej pod implanty



Fot. 8. Projekt Le Fort

Fot. 9. Projekt szablonu pozycjonującego oraz do nawiercenia szczęki

Fot. 10. Wydruk 3D



Smart Set-Up koronowo-korzeniowy oraz cyfrowa produkcja aparatów ortodontycznych pozwalają pracować w oparciu o rzeczywistą anatomie pacjenta. Dzięki temu ortodocja staje się bardziej:

- przewidywalna,
- biologicznie bezpieczna,
- zindywidualizowana,
- interdyscyplinarna.

Sztuczna inteligencja nie zastępuje lekarza. Pozwala mu jednak pracować na poziomie precyzji, który jeszcze kilka lat temu był trudny do osiągnięcia. Cyfrowa ortodocja nie jest już wizją przyszłości. To rzeczywistość dostępna tu i teraz.

### Dlaczego kontrola korzeni i sił ortodontycznych jest kluczowa w leczeniu interdyscyplinarnym?

Jednym z najważniejszych zagadnień współczesnej ortodocji jest kontrola biomechaniki ruchu zębów oraz wpływu sił ortodontycznych na tkanki przyzębia. Badania prowadzone przez Rodrigo Vicelliego oraz jego zespół, opublikowane m.in. w „Journal of Dental Research” w 2013 roku oraz w kolejnych pracach dotyczących biomechaniki ortodontycznej, pozwoliły lepiej zrozumieć reakcję więzadła ozębnej (PDL) na obciążenia mechaniczne. Prace te wskazują, że przekroczenie określonego progu naprężeń w PDL prowadzi do zaburzeń mikrokrążenia i może skutkować martwicą tkanek oraz resorpcją korzeni. W praktyce klinicznej oznacza to, że optymalizacja sił ortodontycznych jest jednym z najważniejszych elementów bezpiecznego leczenia. Klasyczna ortodocja w dużej mierze opierała się na doświadczeniu klinicznym lekarza oraz empirycznym doborze sił. Współczesne środowiska cyfrowe pozwalają jednak znacznie lepiej

kontrolować biomechanikę ruchu zębów. Integracja danych CBCT, modeli cyfrowych oraz planowania ortodontycznego umożliwia analizę takich parametrów jak:

- położenie korzeni w kości,
- grubość blaszki kostnej,
- potencjalne kolizje korzeni,
- kierunki przemieszczeń zębów,
- relacje między siłami a strukturą przyzębia.

Dzięki temu planowanie leczenia może uwzględniać nie tylko estetyczne ustawienie zębów, lecz również biologiczne granice ich przemieszczenia. W środowiskach takich jak DDP-Ortho, wykorzystujących dane CBCT oraz modele diagnostyczne generowane przez DDP AI, możliwe jest tworzenie Smart Set-Upów koronowo-korzeniowych, które pozwalają analizować trajektorie ruchu zębów jeszcze przed rozpoczęciem leczenia.

Tego typu planowanie umożliwia wizualizację kolejnych etapów terapii, co w praktyce pozwala lekarzowi ocenić, czy:

- planowane przemieszczenie mieści się w granicach biologicznych,
- istnieje ryzyko przeciążenia przyzębia,
- konieczna jest modyfikacja biomechaniki leczenia.

W kontekście badań Vicelliego szczególnie istotna jest możliwość monitorowania i optymalizacji sił ortodontycznych na każdym etapie leczenia. Cyfrowy workflow pozwala wizualizować zmiany położenia zębów w czasie oraz analizować, jak kolejne etapy terapii wpływają na pozycję korzeni w kości. Ma to ogromne znaczenie w leczeniu interdyscyplinarnym, zwłaszcza gdy ortodocja poprzedza:

- implantację,
- leczenie protetyczne,
- zabiegi chirurgiczne.

W takich przypadkach kontrola położenia korzeni oraz biomechaniki ruchu zębów staje się

kluczowa dla bezpieczeństwa całej terapii. Precyzyjne planowanie ortodontyczne pozwala bowiem nie tylko ustawić zęby w prawidłowej okluzji, ale również przygotować optymalne warunki anatomiczne dla dalszego leczenia.

### Symulacje biomechaniczne obecnie opracowywane – od badań FEA do klinicznego planowania leczenia

Jednym z narzędzi, które odegrało kluczową rolę w rozwoju współczesnej biomechaniki ortodontycznej, jest Finite Element Analysis (FEA) – metoda numeryczna pozwalająca analizować rozkład naprężeń i odkształceń w strukturach biologicznych. Metoda ta była szeroko wykorzystywana w badaniach Rodrigo Vicelliego, który analizował reakcję więzadła ozębnej (PDL) na działanie sił ortodontycznych. Modele FEA pozwoliły z dużą dokładnością symulować zachowanie zęba, kości i więzadła przy różnych konfiguracjach sił oraz kierunkach przemieszczeń. Wyniki tych badań pokazały, że biomechanika ruchu zębów jest znacznie bardziej złożona niż zakładano w klasycznych modelach ortodontycznych. Rozkład naprężeń w PDL zależy nie tylko od wielkości siły, ale również od:

- geometrii korzenia,
- kształtu i objętości kości,
- punktu przyłożenia siły,
- momentów obrotowych powstających w trakcie ruchu zęba.

Przekroczenie określonego progu naprężeń może prowadzić do zaburzeń mikrokrążenia w więzadle ozębnej oraz do powstania obszarów martwicy, co zwiększa ryzyko resorpcji korzeni lub niepożądanych reakcji biologicznych.

### Połączenie FEA, CBCT oraz sztucznej inteligencji

Jeszcze kilkanaście lat temu symulacje FEA były narzędziem wykorzystywanym głównie w badaniach naukowych. Współczesna stomatologia cyfrowa zbliża się jednak do momentu, w którym tego typu analizy mogą być coraz bardziej dostępne w praktyce klinicznej.

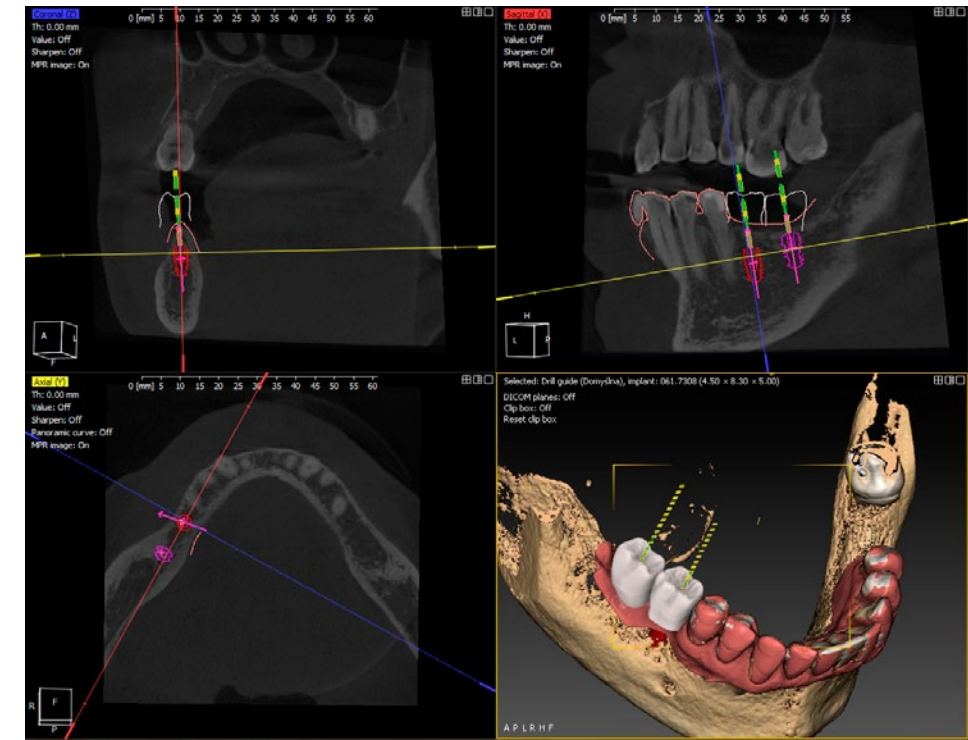
Kluczową rolę odgrywa tutaj integracja trzech elementów, takich jak:

- Dane anatomiczne CBCT. Tomografia CBCT dostarcza dokładnej informacji o kształcie kości, położeniu korzeni oraz relacjach anatomicznych w obrębie szczęk.
- Modele diagnostyczne AI. Narzędzia takie jak DDP AI umożliwiają przekształcenie skanów wewnątrzskanów w zaawansowane modele diagnostyczne, które można integrować z danymi CBCT.
- Cyfrowe planowanie ortodontyczne. Środowiska takie jak DDP-Ortho pozwalają projektować Smart Set-Up koronowo-korzeniowy oraz analizować trajektorie przemieszczeń zębów.

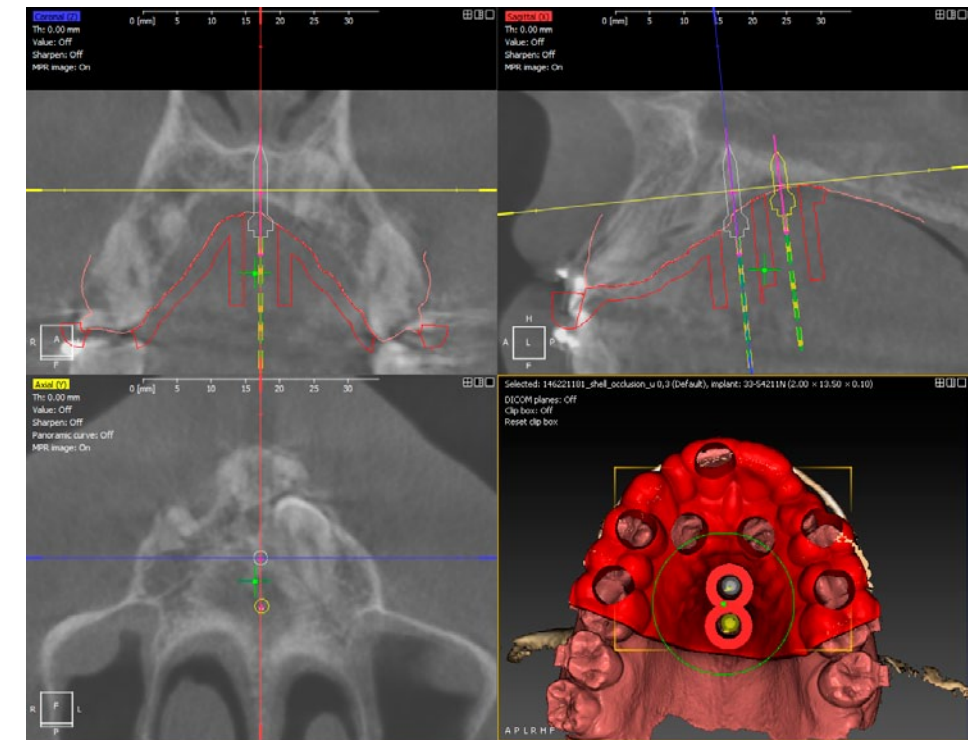
Połączenie tych trzech elementów tworzy fundament dla przyszłych systemów planowania leczenia, które będą mogły wykorzystywać elementy symulacji biomechanicznych.

### Od symulacji naukowych do wizualnej kontroli leczenia

Choć pełne symulacje FEA są wciąż domeną badań naukowych, cyfrowe środowiska planowania leczenia pozwalają już dziś osiągnąć część ich funkcjonalności w praktyce klinicznej. W systemach planowania ortodontycznego możliwe jest między innymi:



Fot. 11 i 12. Panele programu DDS-Pro



- wizualizowanie trajektorii ruchów zębów,
- kontrolowanie położenia korzeni względem kości,
- analizowanie kolejnych etapów leczenia,
- ocenianie potencjalnych kolizji korzeni.

W praktyce oznacza to, że lekarz może wizualnie nadzorować biomechanikę leczenia na każdym etapie terapii. Takie podejście jest szczególnie istotne w leczeniu alignerowym, w przypadku którego każda nakładka odpowiada za niewielkie przemieszczenie zębów, a kontrola kolejnych etapów terapii jest kluczowa dla bezpieczeństwa biologicznego leczenia.

### Biomechanika jako fundament bezpiecznej ortodoncji

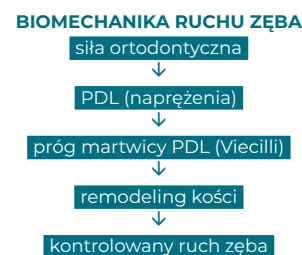
Integracja danych CBCT, modeli AI oraz cyfrowego planowania leczenia pozwala dziś przenieść wiele koncepcji biomechanicznych – wcześniej znanych głównie z badań naukowych – do codziennej praktyki klinicznej. W kontekście badań Viecilliego oznacza to możliwość:

- lepszego kontrolowania sił ortodontycznych,
- przewidywania reakcji przyzębia na przemieszczenia zębów,
- minimalizowania ryzyka resorpcji korzeni,
- prowadzenia leczenia w granicach biologicznej tolerancji tkanek.

Takie podejście ma szczególne znaczenie w leczeniu interdyscyplinarnym, w którym ortodoncja przygotowuje warunki dla dalszych etapów terapii – implantologii, chirurgii czy protetyki.

### Nowy standard planowania leczenia

Rozwój cyfrowej ortodoncji prowadzi do powstania nowego standardu planowania leczenia. W modelu tym ortodonta nie pracuje już wyłącznie na modelach diagnostycznych, lecz na zintegrowanym modelu anatomicznym pacjenta, który obejmuje: struktury kostne, korzenie zębów, relacje okluzyjne oraz estetykę twarzy. Połączenie tych danych z narzędziami analitycznymi i algorytmami sztucznej inteligencji pozwala coraz lepiej kontrolować biomechanikę leczenia. W efekcie ortodoncja staje się nie tylko bardziej precyzyjna, ale również bardziej przewidywalna i biologicznie bezpieczna.



Schemat 1. Biomechanika ruchu zęba

Schemat 2. Zintegrowany cyfrowy workflow leczenia ortodontycznego oparty na danych CBCT, skanach wewnątrzustnych oraz narzędziach sztucznej inteligencji. System obejmuje segmentację CBCT w środowisku DDS-Pro, tworzenie modeli diagnostycznych DDP AI, planowanie leczenia w DDP-Ortho (Smart Set-Up koronowo-korzeniowy) oraz produkcję aparatów ortodontycznych w systemie DTS. Takie podejście umożliwia prowadzenie leczenia ortodontycznego jako centralnego etapu terapii interdyscyplinarnej, obejmującej implantologię, chirurgię oraz protetykę

CBCT → DDS-PRO → DDP AI → DDP-ORTHO SMART SET-UP → DTS / ALIGNERY → IMPLANTOLOGIA / PROTETYKA



# DDP.SYSTEMS



- Komfortowe tworzenie modeli diagnostycznych wspomagane przez AI
- Reprezentacja rzeczywistych korzeni z CBCT lub uproszczonych z bibliotek
- Dostępne do samodzielnej pracy w gabinecie dla lekarza lub asystenta



- Diagnostyka, planowanie leczenia, wizualizacja celów leczenia
- Planowanie leczenia (w tym nakładkowego) z uwzględnieniem obrysów kości i ruchu korzeni
- Zaawansowane narzędzia do optymalizacji set-up



- Diagnostyka i planowanie leczenia na podstawie CBCT wspierane przez AI
- Segmentacja łuków zębowych i struktur kostnych na potrzeby planowania leczenia ortodontycznego
- Nawigacja zabiegów implantologii (w tym zygomatycznej) i ortodontycznej
- Planowanie i nawigacja zabiegów ortognatycznych

