

**Justyna MIODOWSKA, Magdalena KROMKA-SZYDEK** Instytut Mechaniki Stosowanej, Zakład Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki, Politechnika Krakowska, Kraków

**Magdalena JĘDRUSIK-PAWŁOWSKA** Zakład Chirurgii Stomatologicznej Katedry Chirurgii Czaszkowo-Szczękowo-Twarzowej, Śląski Uniwersytet Medyczny

## **MODELOWANIE WIÓRÓW KOSTNYCH STOSOWANYCH JAKO PRZESZCZEPY W REKONSTRUKCJI ŻUCHWY**

**Streszczenie:** Celem pracy była próba zamodelowania wiórów kostnych stosowanych jako przeszczepy w rekonstrukcji żuchwy. Przeprowadzono analizy wytrzymałościowe metodą elementów skończonych MES modeli zrekonstruowanej żuchwy przy obciążeniu na zęby przednie oraz boczne siłą sumaryczną równą 100N. Przypadki analizowane były ze względu na udział objętościowy wiórów kostnych w przeszczepie oraz wielkość elementu użytego do symulacji. Praca stanowi pierwszy etap badań mających na celu opracowanie sposobu modelowania zrostu i odtworzenia układu żuchwa-przeszczep z użyciem różnych materiałów rekonstrukcyjnych.

**Słowa kluczowe:** wióry kostne, modelowanie MES, rekonstrukcja żuchwy

### 1. WSTĘP

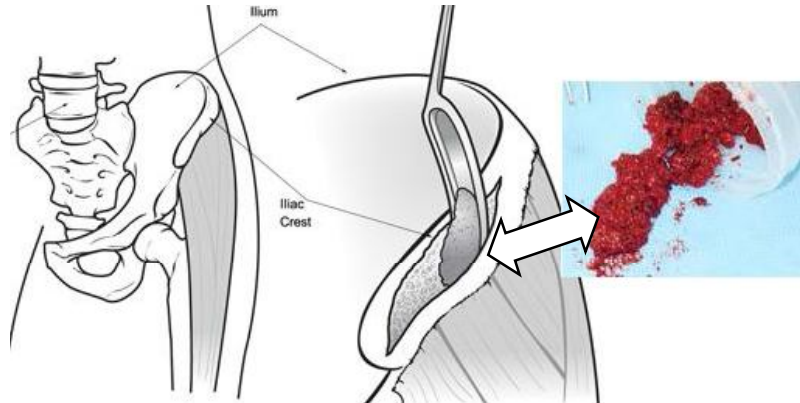
Żuchwa ludzka jest złożoną, trójwymiarową kością, której wyjątkowy kształt stwarza ogromną trudność w dokładnym jej odtworzeniu, po częściowej nawet resekcji. Celem rekonstrukcji chirurgicznej jest estetyczne odtworzenie ciągłości uszkodzonych tkanek, jak również przywrócenie im funkcji. Wskazania estetyczne dotyczą szczególnie zachowania symetrii twarzy przez odtworzenie anatomicznego kształtu resekowanych odcinków (zwłaszcza trzonu żuchwy), a wskazania czynnościowe obejmują przywrócenie prawidłowych warunków zwarciovych, czynności żucia, mowy i oddychania.

Odbudowa i regeneracja tkanki kostnej jest możliwa głównie dzięki mechanizmowi osteogenezy - zdolności osteoblastów do odbudowy tkanki kostnej [6].

Do najczęściej stosowanych materiałów rekonstrukcyjnych należą: przeszczepy kostne (najczęściej autogenne) oraz substytuty kości (rys. 1). Jednym z stosowanych materiałów autogennych są wióry kostne (rys. 2) pobierane z talerza kości biodrowej pacjenta i używane do wypełniania mniejszych ubytków.



Rys. 1 Substytuty kości w formie granulatu [7], wiórów [8] oraz bloku [9]



Rys. 2 Przeszczep autogeny w postaci wiórów kostnych oraz technika ich pobrania z kości biodrowej [10, 11]

## 2. METODYKA PRACY

Celem przedstawionej pracy było podjęcie próby komputerowego zamodelowania złożonej struktury anatomicznej jaką są wióry kostne, wykorzystywane jako przeszczepy w rekonstrukcji żuchwy. Do analizy wykorzystano przypadek kliniczny rekonstrukcji żuchwy opisany dokładnie w pracy Jędrusik-Pawłowska M., Kromka-Szydek M., et al., 2013.

Zamodelowano ubytek kości niepełnej grubości o długości 10 mm wypełniony przeszczepem w postaci wiórów kostnych pobranych z kości biodrowej, stabilizowany 7-mio oczkową płytą rekonstrukcyjną 2,4 Synthes z użyciem 4-ech śrub UniLock. Odlamy kostne zostały zamodelowane tak aby odtworzyć kształt kikutów kostnych i ich rekonstrukcję po zabiegu operacyjnym.

Z części modelu (rys. 3) reprezentującej przeszczep zostały wyselekcjonowane elementy, które zamodelowano jako wióry. Pozostałe elementy zostały zamodelowane jako elementy morfotyczne i osocze krwi (rys. 4). Modelowanie różnic we właściwościach zostało przeprowadzone poprzez zmianę stałych materiałowych: modułu Younga oraz współczynnika Poissona dla obu struktur (tabela 1).

Przeprowadzono analizy wytrzymałościowe metodą elementów skończonych MES modelu zrekonstruowanej żuchwy, przy schemacie obciążania przez mięśnie. Rozpatrzono dwa przypadki: obciążenie zębów siecznych oraz zębów bocznych siłą o wartości sumarycznej 100 N. Przyjęta wartość obciążenia może wydawać się zbyt duża zwłaszcza w przeprowadzanych analizach przebiegu procesu zrostu kości przy rekonstrukcji. Należy jednak pamiętać, że w niektórych sytuacjach pacjenci z bruksizmem mogą generować obciążenia wielokrotnie większe niż przeciętny człowiek. Przyjęta wartość ma charakter umowny i w przypadku zmian liniowych umożliwia ocenę rozkładu zmian naprężenia. Podobne wielkości siły są również przyjmowane w pracach innych autorów [4].

Tab.1 Stale materiałowe materiałów użytych w analizie

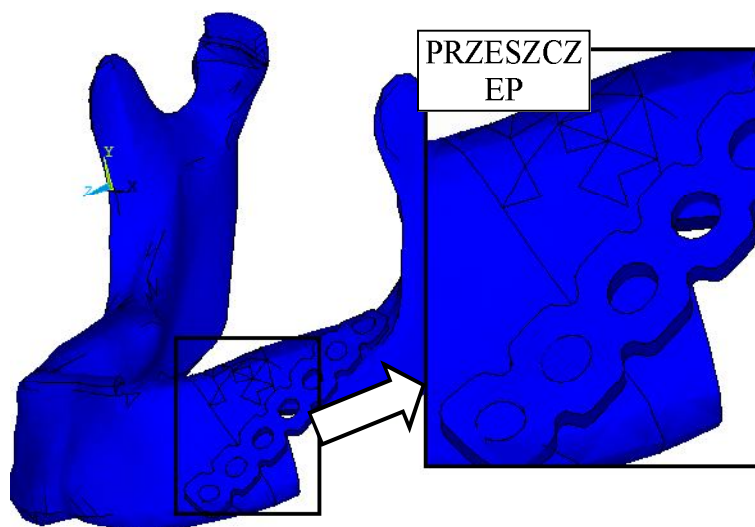
	moduł Younga E [MPa]	współczynnik Poissona $\nu$
<b>elementy morfotyczne i osocze krwi</b>	2	0,49
<b>wióry kostne</b>	800	0,32
<b>kość żuchwy</b>	18000	0,32
<b>krażek stawowy</b>	50	0,45
<b>kość skroniowa</b>	15000	0,32
<b> płyta rekonstrukcyjna</b>	108000	0,30
<b>śruby</b>	108000	0,30

W modelu uwzględniono działanie mięśni: żwacza, skroniowego, skrzydłowego bocznego oraz przyśrodkowego, które są najczęściej uwzględniane również przez innych autorów (Groning 2011, Fricova 2006, Kober 2001), a więzy zostały nałożone w zależności od przypadku: na zęby przednie (siekacze) [1] lub boczne (przedtrzonowe i trzonowe) [3]. W modelu uwzględniono także uproszczony, ruchomy staw skroniowo-żuchwowy.

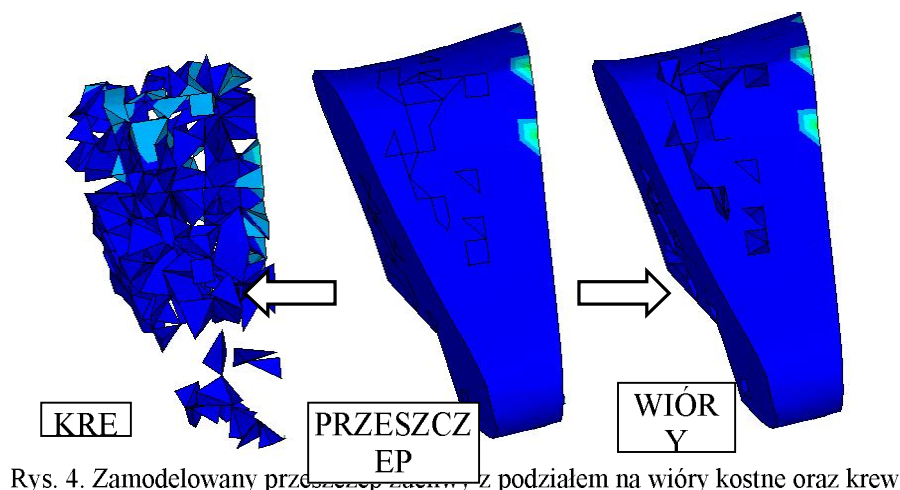
Analizie wytrzymałościowej MES zostały poddane kość żuchwy i przeszczep oraz płyta rekonstrukcyjna. Szczególnej ocenie podlegały obszary na granicy kości żuchwy i przeszczepu (linie osteotomii dystalnej i proksymalnej) ponieważ są to rejony, w których obserwowane są procesy zaniku bądź przeciążenia tkanki kostnej [1].

Analizowano przypadki ze względu na:

- procentowy udział objętościowy wiórów kostnych w całym przeszczepie: 50%, 75% i 85%,
- zmienną wielkość elementu wynikającą z różnego stopnia zagęszczenia siatki mesh: 1,66 i 2,4.



Rys. 3. Model żuchwy wraz z umiejscowieniem przeszczepu



Rys. 4. Zamodelowany przeszczep z podziałem na wióry kostne oraz krew

Dodatkowo przeprowadzono dwie analizy symulujące kolejne etapy zrostu kostnego. Wartości przyjętych stałych materiałowych dla kolejnych etapów podano w tabeli 2.

Tab. 2 Zmiany wartości modułu Younga [MPa] dla kolejnych etapów zrostu kostnego

kolejne etapy zrostu kostnego	1	2	3	4	5
elementy modelu symulujące elementy morfotyczne i osocze krwi	2	50	100	200	500
elementy modelu symulujące wióry kostne	800	800	800	1000	1200

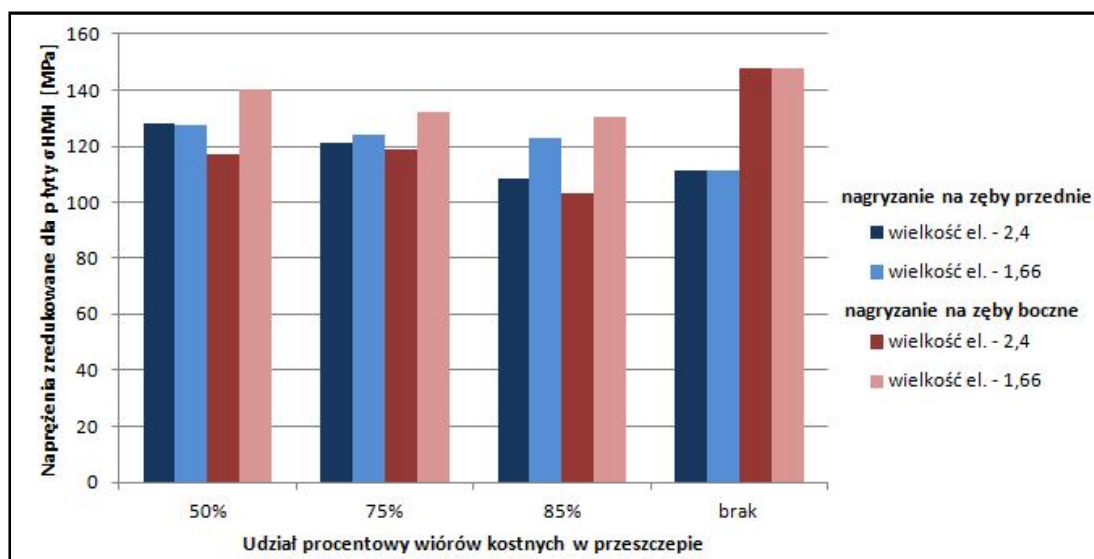
Przedstawione w tabeli zmiany modułu Younga elementów modelujących przeszczep kostny w postaci wiórów kostnych zmieniają wartość, tak aby zobrazować proces przebudowy (wgajania) przeszczepu. W pracy zostały zastosowane metody przybliżonego modelowania z wykorzystaniem zmian stałych materiałowych w obrębie przeszczepu oparte na inżynierskim rozumieniu i próbie modelowania zjawiska zrostu. Autorzy nie starali się zamodelować ciągłego procesu przebudowy (wgajania) przeszczepu kostnego, a głównym celem była ocena biomechanicznej pracy odtworzonego układu żuchwa-przeszczep-łyta.

### 3. WYNIKI ANALIZ

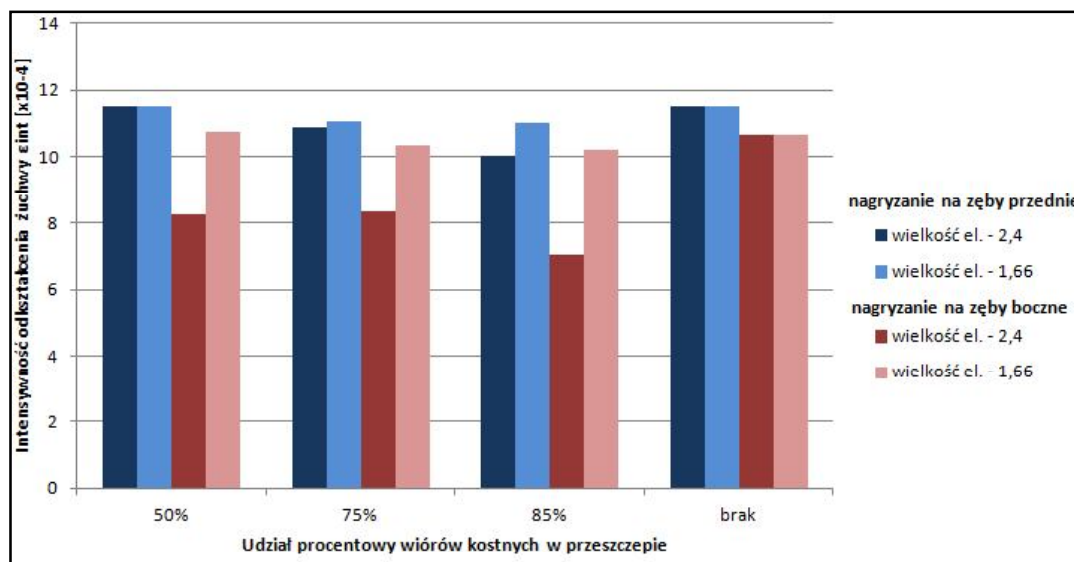
Zmiany zachodzące w tkankach żuchwy i przeszczepu oraz w elementach stabilizujących, oceniano na podstawie wybranych wielkości wytrzymałościowych. Dla określenia wyężenia płyt rekonstrukcyjnych przyjęto wielkość napężenia zredukowanego według hipotezy Hubera-Miesesa-Henky'ego -  $\sigma_{HMH}$  [MPa]. Natomiast do analizy tkanek twardych żuchwy i przeszczepów przyjęto intensywność odkształceń -  $\epsilon_{int}$  jako miarę wyężenia kości.

Na wybór ten miał wpływ fakt, iż zmiana rozkładu odkształceń jest najważniejszym czynnikiem stymulującym adaptacyjną odpowiedź tkanki kostnej na oddziaływanie pola odkształceń mechanicznych [5].

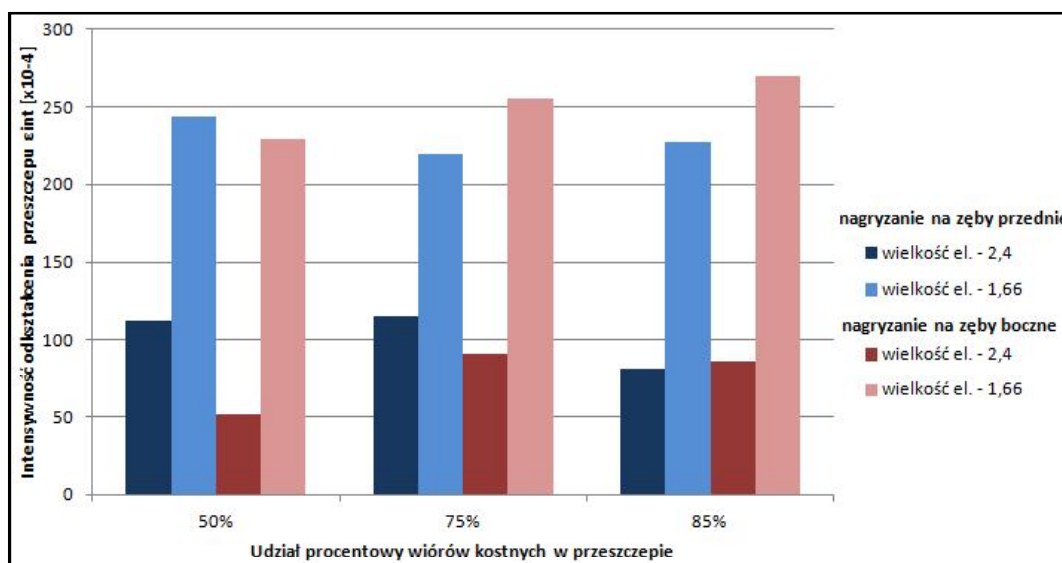
Poniżej przedstawiono wyniki analiz przeprowadzonych ze względu na udział procentowy wiórów kostnych w przeszczepie w dwóch przypadkach nagryzania: na zęby przednie i zęby boczne. Na wykresie uwzględniono także dane dotyczące sytuacji, w której nie modelowano w ogóle przeszczepu (oznaczenie na wykresie - 'brak').



Rys. 5 Wartości naprężenia zredukowanego dla płyty  $\sigma_{HMH}$  [MPa]

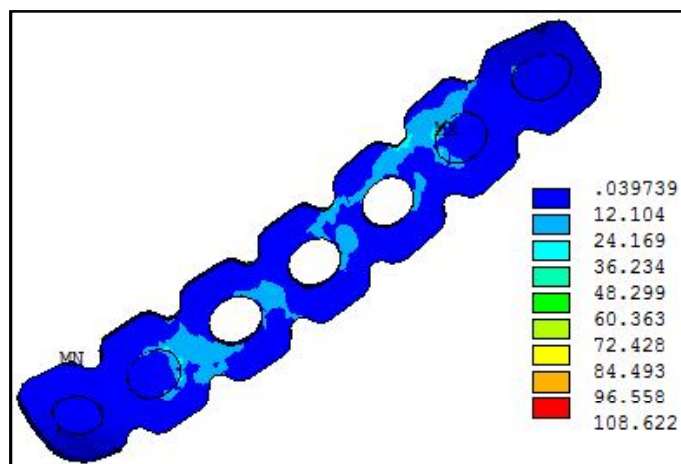


Rys. 6 Wartości intensywności odkształcenia dla żuchwy  $\epsilon_{int}$

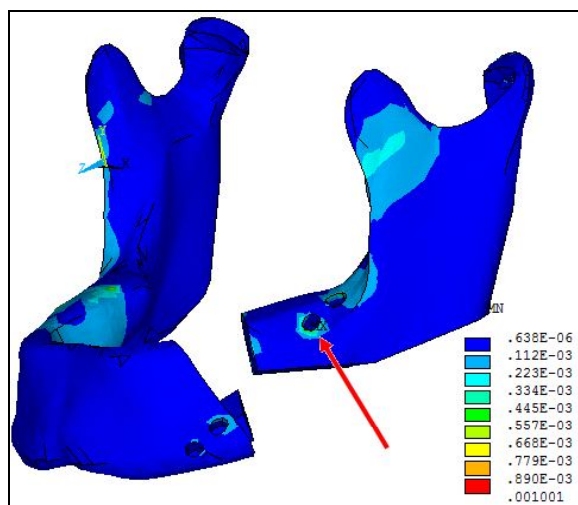


Rys. 7 Wartości intensywności odkształcenia dla przeszczepu  $\epsilon_{int}$



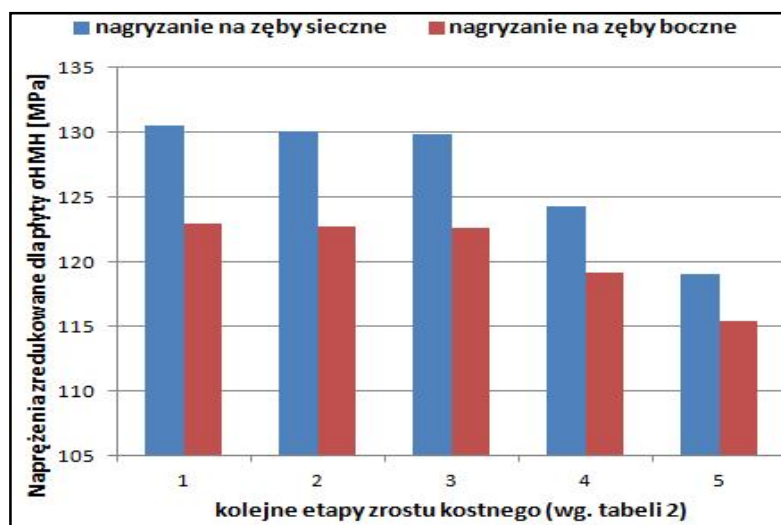


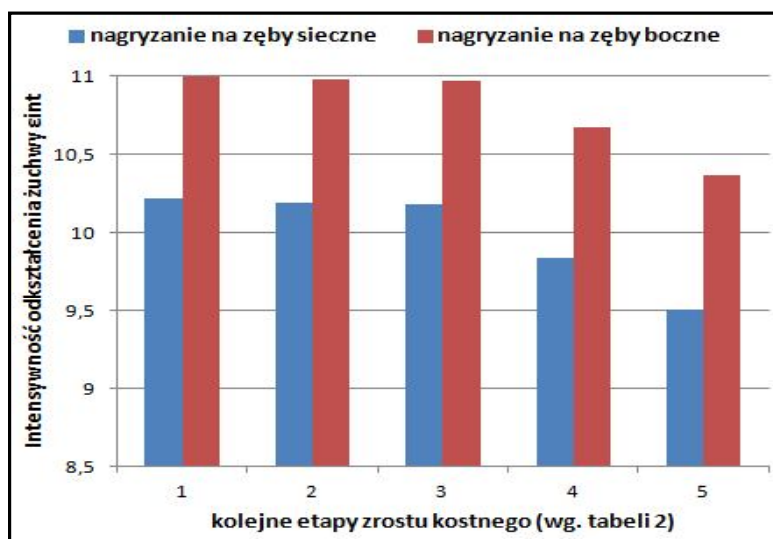
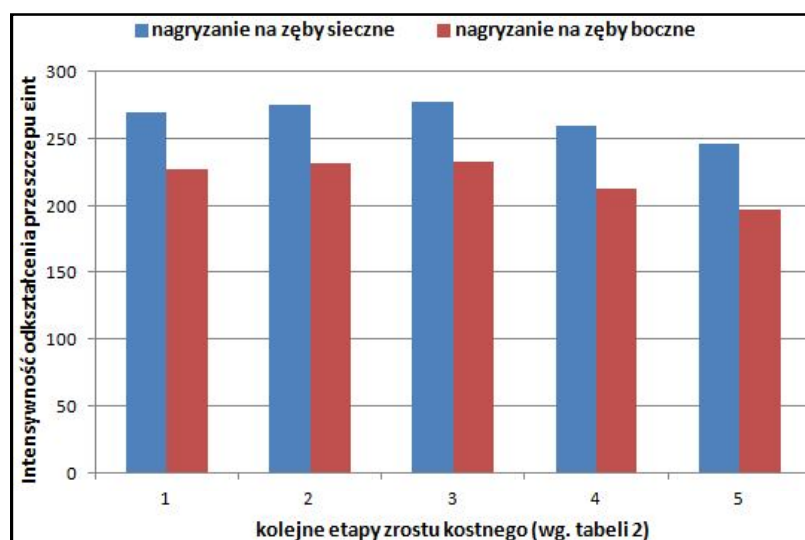
Rys. 8 Rozkład naprężeń w płycie rekonstrukcyjnej



Rys. 9 Obszar wytężenia żuchwy zlokalizowany przy otworze znajdującym się bliżej linii osteotomii dystalnej

Na rysunkach 10-12j zostały przedstawione wyniki symulacji kolejnych etapów zrostu kostnego dla dwóch przypadków: nagryzania na zęby przednie oraz boczne. Obie analizy zostały wykonane dla wielkości elementu siatki mesh równego 1,66.

Rys. 10 Wartości naprężenia zredukowanego dla płyty  $\sigma_{HMH}$  [MPa]

Rys. 11 Wartości intensywności odkształcenia dla żuchwy  $\epsilon_{int}$ Rys. 12 Wartości intensywności odkształcenia dla przeszczepu  $\epsilon_{int}$ 

#### 4. WNIOSKI

Przedstawione wyniki pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- wartości intensywności odkształcenia  $\epsilon_{int}$  dla żuchwy w zależności od udziału procentowego wiórów kostnych w przeszczepie mieszczą się w granicach równowagi fizjologicznej tkanki kostnej,
- w obszarze proksymalnym żuchwy wartości  $\epsilon_{int}$  są bardzo małe (poniżej  $2 \times 10^{-4}$ ) co świadczy o zaniku tkanki kostnej (wg. Milewski 2002),
- obszary wyęźnienia żuchwy znajdują się przy otworze znajdującym się bliżej linii osteotomii dystalnej dla wszystkich przypadków (rys. 9),
- wartości intensywności odkształcenia dla przeszczepu wykraczają poza zakres fizjologicznej równowagi tkanki kostnej i utrzymują się w zakresie odpowiadającym przeciążeniom patologicznym,
- wielkość elementu siatki mesh oraz udział procentowy wiórów kostnych w przeszczepie mają wpływ na uzyskiwane wartości intensywności odkształcenia zarówno dla kości żuchwy jak i przeszczepu,

- w przypadku modelowania wzrostu kostnego wartości naprężenia zredukowanego  $\sigma_{HMH}$  maleją wraz ze wzrostem wartości modułu sprężystości elementów modelujących fragmenty przeszczepu i są mniejsze o ok. 20% dla przypadku nagryzania na zęby boczne w stosunku do przypadku nagryzania na zęby przednie.

## LITERATURA

- [1] Jędrusik-Pawłowska M., Kromka-Szydek M., Kutra M., Niedzielska I.: *Mandibular reconstruction-biomechanical strength analysis (FEM) based on a retrospective clinical analysis of selected patients*. Aca of Bioengineering and Biomechanics, vol. 15, no. 2, 2013, str. 23-31.
- [2] Knets I., Vitins V., Cimmins R., Laizans J.: *Biomechanical behaviour of system bone-callus-implant*, proceedings 10<sup>th</sup> Conf. of the European Society of Biomechanics, Leuven 1996, 97.
- [3] Nagasao T.: *Biomechanical evaluation of implant placement in the reconstructed mandible*. Journal of Oral & Maxillofacial Implants, 2009, 24; 999-1005.
- [4] Maurer P., Holweg S., Knoll W.-D., Schubert J.: FEM-gestützte Untersuchung zur mechanischen Stabilität zweier ausgewählter Osteosynthesysteme bei der sagittalen Unterkieferosteotomie. Mund Kiefer Gesichts Chirurgie. 2001; 5: 343-347.
- [5] Milewski G.: *Stymulatory mechaniczne w przebudowie tkanki kostnej*, Annales Academiae Medicae Silesiensis No 46/2002; str. 245-255.
- [6] Myciński P., Zarzecka J.: *Przegląd materiałów do rekonstrukcji kości stosowanych w chirurgii jamy ustnej*, Poradnik Stomatologiczny, 2011, XI,10; str. 426-431.
- [7] [www.merries.com](http://www.merries.com)
- [8] [www.amicusvisualsolutions.com](http://www.amicusvisualsolutions.com)
- [9] [www.zimmerdental.com](http://www.zimmerdental.com)
- [10] [www.orthoinfo.aaos.org](http://www.orthoinfo.aaos.org)
- [11] [www.orthosupersite.com](http://www.orthosupersite.com)

## MODELING OF BONE SHAVINGS USED AS BONE GRAFT IN MANDIBULAR RECONSTRUCTION

**Abstract:** The aim of this study was to model the bone shavings which are used as grafts for reconstruction of the mandible. FEA finite element analyses were provided using models reconstructed mandible with a load on the teeth front and side force equal to the total 100N. Cases were analyzed due to the volume fraction of the graft bone shavings and the size of the element used for analysis. Work is an introduction to further research aimed at improving knowledge and understanding of the process of healing the graft.