

**UNIWERSYTET MEDYCZNY**  
**im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu**  
**Katedra i Zakład Medycyny Sądowej**

**PRZYDATNOŚĆ OCENY OBRAZU HISTOLOGICZNEGO  
I SKŁADU CHEMICZNEGO OBOJCZYKA W  
BADANIACH IDENTYFIKACYJNYCH SZCZĄTKÓW  
LUDZKICH.**

**Julia Sobol**

**Rozprawa na stopień doktora nauk medycznych  
wykonana w ramach studium doktoranckiego**

**Promotor**  
**prof. dr hab. n. med. Roman Wachowiak**

**Poznań 2011**

*Panu profesorowi Romanowi Wachowiakowi  
mojemu promotorowi  
składam serdeczne podziękowania  
za cenne wskazówki i pomoc okazaną  
przy realizacji niniejszej pracy*

## Spis treści

|   |    |
|---|----|
| 1. Wstęp.....   | 1  |
| 2. Kość jako narząd.....  | 1  |
| 2.1 Anatomia obojczyka .....  | 2  |
| 2.2 Rozwój kości. Rozwój obojczyka. ....                                      | 2  |
| 2.3 Histologia tkanki kostnej .....   | 3  |
| 2.3.1 Budowa histologiczna kości.....   | 3  |
| 2.3.2 Komórki tkanki kostnej.....   | 6  |
| 2.3.3 Substancja międzykomórkowa kości.....                                   | 8  |
| 2.4 Fizjologia kości.....   | 9  |
| 2.4.1 Wzrost kości.....   | 9  |
| 2.4.2 Modelowanie strukturalne.....   | 10 |
| 2.5 Proces identyfikacji szczątków ludzkich. ....                             | 12 |
| 2.5.1 Ustalenie przynależności gatunkowej.....                                | 12 |
| 2.5.2 Działanie wysokie temperatury na tkankę kostną.....                     | 13 |
| 2.5.3 Ustalenie wieku szczątków za pomocą<br>badań mikroosteometrycznych..... | 14 |
| 2.5.4 Czynniki wpływające na dokładność<br>badań mikroosteometrycznych.....   | 20 |
| 2.6. Zmiany w strukturze chemicznej kości<br>zachodzące z wiekiem.....        | 25 |
| 3. Cel pracy.....   | 28 |
| 4. Materiał.....  | 30 |
| 5. Metody.....  | 35 |
| 5.1 Pobranie materiału badawczego.....  | 35 |
| 5.2 Przygotowanie szlifów kostnych.....                                       | 35 |
| 5.3 Przygotowanie odwapnionych preparatów tkanki kostnej.....                 | 36 |
| 5.4 Badanie mikromorfometryczne. ....   | 37 |
| 5.5 Analiza statystyczna.....   | 38 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 5.6    | Analiza porównawcza szlifów tkanki kostnej o różnym miejscu pobrania materiału badawczego.....   | 40  |
| 5.7    | Analiza porównawcza szlifów kości człowieka, zwierząt oraz spalonej kości człowieka.....   | 41  |
| 5.8    | Analiza chemiczna składu badanych kości.....   | 41  |
| 6.     | Wyniki.....  | 47  |
| 6.1    | Porównanie metod przygotowania preparatów histologicznych tkanki kostnej .....   | 47  |
| 6.2    | Analiza porównawcza szlifów trzonu obojczyka oraz szlifów z pogranicza trzonu i nasad w świetle spolaryzowanym przy powiększeniu x50. .... | 53  |
| 6.3    | Wyniki modeli regresji jednowymiarowej.....  | 63  |
| 6.3.1  | Wyniki istotne statystycznie.....  | 63  |
| 6.3.1a | Predyktor - liczba osteonów .....  | 63  |
| 6.3.1b | Predyktor - liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70μm.....  | 69  |
| 6.3.1c | Predyktor - stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70μm do ogólnej liczby osteonów .....                                   | 75  |
| 6.3.1d | Predyktor - średnia średnica kanałów Haversa.....  | 81  |
| 6.3.1e | Predyktor - średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych.....   | 87  |
| 6.3.1f | Predyktor - powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe .....   | 93  |
| 6.3.1g | Predyktor - powierzchnia zajmowana przez osteony w polu widzenia .....   | 99  |
| 6.3.1h | Predyktor - powierzchnia zajmowana przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach .....  | 105 |
| 6.3.2. | Wyniki nie istotne statystycznie.....  | 111 |
| 6.3.2a | Predyktor - długość obojczyka.....   | 111 |
| 6.3.2b | Predyktor - szerokość obojczyka.....   | 113 |
| 6.3.2c | Predyktor - grubość obojczyka.....   | 115 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 6.4   | Wyniki modeli regresji wielowymiarowej.....   | 117 |
| 6.4.1 | Wyniki modeli regresji wielowymiarowej<br>w grupie ogólnej.....   | 117 |
| 6.4.2 | Wyniki modeli regresji wielowymiarowej<br>w grupie mężczyzn.....  | 123 |
| 6.4.3 | Wyniki modeli regresji wielowymiarowej<br>w grupie kobiet.....  | 129 |
| 6.5   | Analiza porównawcza szlifów trzonu obojczyka człowieka<br>ze szlifami, wykonanymi ze spalonych próbek kości,<br>oraz ze szlifami kości udowych krowy i świni..... | 135 |
| 6.6   | Ocena struktury chemicznej tkanki kostnej.....  | 140 |
| 6.6.1 | Zmiany struktury mineralnej obojczyka zachodzące<br>z wiekiem.. ..  | 141 |
| 6.6.2 | Różnice gatunkowe struktur kostnych w<br>badaniach spektrofotometrycznych – IR.....   | 144 |
| 7.    | Dyskusja .....  | 145 |
| 8.    | Wnioski.....  | 165 |
| 9.    | Streszczenie.....   | 167 |
| 10.   | Summary .....   | 169 |
| 11.   | Piśmiennictwo .....   | 171 |
| 12.   | Spis tabel, rycin i zdjęć.....  | 183 |
| 13.   | Wykaz skrótów .....   | 198 |

## **1. Wstęp**

Kości, jako trwałe element struktury anatomicznej organizmu człowieka budziły zainteresowanie naukowców od bardzo dawnych czasów. Już prace Hipokratesa, Arystotelesa, Galena i Awicenny zawierały względnie dokładne opisy budowy i funkcji kości. Lecz tylko Wesaliusz, twórca współczesnej anatomii w 1542r. tworząc dzieło "Budowa ludzkiego ciała", jako pierwszy opisał w nim dokładną budowę szkieletu i śmiało poprawił błędy, spotykane we wcześniejszych pracach Galena. Wesaliusz opisał niektóre cechy kości, które zmieniają się z wiekiem człowieka, wyróżnił osobnicze różnice czaszki, poza tym zaznaczył, że kobiety i mężczyźni mają jednakową ilość żeber. Leuwenhoek, po wykonaniu swojego pierwszego mikroskopu w 1677r. odkrył, że kość zbudowana jest z podjednostek w kształcie kanałów, a powierzchnia kości pokryta siecią naczyń. Od czasu stworzenia mikroskopu wiedza naukowców o budowie tkanek ciała człowieka postępowała bardzo szybko. Już w 1691r. angielski anatom Havers zaznaczył, że naczynia kości przechodzą przez warstwę korową i opisał kanały tej warstwy, które zostały nazwane jego imieniem, oraz jako pierwszy wyróżnił blaszkowaty układ kości korowej. Jednak Havers, a następnie włoski anatom i patomorfolog Morgagni w swoich pracach z początku XVIII wieku, uważali, że kanały w warstwie korowej kości są wypełnione olejem szpikowym. Dopiero Albinos w 1757r. odkrył, że przez kanały przechodzą naczynia krwionośne. Już w XIX wieku bardzo szybko poszerzała się wiedza podstawowa o mikrostrukturze tkanki kostnej oraz składzie substancji międzykomórkowej. Znaczący rozwój techniki i powstanie nowych metod badawczych w XX wieku pozwoliły poznać nie tylko dokładną strukturę komórek kostnych, lecz także ustalić ich funkcję i właściwości biochemiczne. [14, 74]

## **2. Kość jako narząd**

Kość jest wysoce wyspecjalizowaną odmianą tkanki łącznej, która pełni funkcje podporowe oraz stanowi magazyn soli mineralnych uczestniczący aktywnie w podtrzymaniu homeostazy mineralnej w organizmie. Przedmiotem

zainteresowania prezentowanej pracy jest obojczyk, którego dokładną budowę należy poznać i omówić szczegółowo. W strukturze kości można wyróżnić kilka poziomów organizacji - od jej budowy makroskopowej, poprzez budowę i układ beleczek, osteonów oraz tworzących je blaszek, rozmieszczenie krystalitów minerałów i składników organicznych macierzy, aż do struktury molekularnej tych składników.

## **2.1. Anatomia obojczyka.**

Przedmiotem zainteresowania obecnej pracy jest *obojczyk* (clavicula; clavis, kleis = klucz), który jest kością długą wygiętą w kształcie litery "S". Obojczyk biegnie od górnego końca mostka, w kierunku poprzecznym i nieco ku tyłowi, przed pierwszym żebrzem i ponad nim, przylegając swym końcem bocznym do wyrostka barkowego łopatki. W obrębie obojczyka odróżniamy część środkową i dwa końce - przyśrodkowy, skierowany do mostka i boczny, skierowany ku łopacie. Koniec mostkowy jest zgrubiały i kończy się mniej więcej trójkątną i nieco siodełkowato zakrzywioną powierzchnią stawową mostkową pokrytą chrząstką włóknistą, która przylega do wcięcia obojczykowego mostka. Koniec barkowy jest spłaszczony w kierunku od góry do dołu i zakończony bocznie małą owalną i słabo wypukłą powierzchnią stawową pokrytą chrząstką włóknistą. Powierzchnia ta łączy się z powierzchnią stawową wyrostka barkowego łopatki. [17, 92]

## **2.2. Rozwój kości. Rozwój obojczyka.**

Rozwój kości, inaczej określany jako proces kostnienia, zachodzi na podłożu tkanki mezenchymalnej. [63] Wyróżnia się dwa typy rozwoju tkanki kostnej: na podłożu błoniastym oraz na podłożu chrzęstnym.

Tkanka kostna rozwijająca się na podłożu łącznotkankowym przyjmuje budowę błoniastą i dlatego ten typ rozwoju kości określa się jako kostnienie na podłożu błoniastym. Ten typ kostnienia daje początek kościom pokrywowym czaszki i kościom twarzoczaszki oraz części obojczyka. [63] Alternatywnie przyjmuje się też, że rozwój przebiega na podłożu tkanki chrzęstnej szklistej,

z której najpierw tworzy się model przyszłej kości, a następnie zachodzi jego kostnienie. Ten typ powstania kości określa się jako kostnienie na podłożu chrzęstnym.

Obojczyk jest kością, która zaczyna swój rozwój najwcześniej w porównaniu do pozostałych kości, a koniec jego rozwoju przypada na 21-25 rok życia. Pierwszy punkt kostnienia obojczyka stwierdza się w centralnej jego części już w 5-6 tygodniu rozwoju płodowego, gdzie kostnienie odbywa się na podłożu błoniastym. Kostnienie końca barkowego obojczyka odbywa się dzięki głównemu jądro kostnienia. Nieco później tworzy się drugie, dodatkowe jądro kostnienia w okolicy końca mostkowego obojczyka. W tej okolicy kostnienie odbywa się na podłożu chrzęstnym. Całkowite ukończenie procesu kostnienia obojczyka przypada na wiek 21-25 lat, a w niektórych przypadkach, zwłaszcza w części końca mostkowego, w wieku 30 lat. [91]

## **2.3. Histologia tkanki kostnej**

### **2.3.1. Budowa histologiczna kości**

Już makroskopowo na przekrojach kości można stwierdzić, że mają one utkanie gąbczaste w okolicy nasad i części przynasadowych kości długich oraz w okolicy zrębu kości płaskich i krótkich, a istota zbita tworzy trzony kości długich oraz cienką warstwę pokrywa tkankę gąbczastą nasad kości długich oraz innych kości.

Pod względem budowy histologicznej wyróżnia się dwa typy tkanki kostnej: pierwotną, niedojrzałą kość o budowie splotowatej, określaną jako kość grubowłóknista, i wtórną kość drobnowłóknistą o budowie blaszkowatej, która zastępuje w procesie przebudowy kość pierwotną.

Tkanka kostna grubowłóknista tworzy się w procesie powstawania kości, oraz występuje w przebiegu gojenia się złamań. Kość grubowłóknista, zawiera znacznie większą w porównaniu do tkanki drobnowłóknistej, ilość osteocytów które są duże, nieregularnego kształtu, rozmieszczone chaotycznie. Macierz kostna jest w większym stopniu nasycona związkami mineralnymi, lecz ich krystaliczność jest mniejsza niż w tkance kostnej blaszkowatej, a włókna kolage-



nowe tworzą grube pęczki o nieregularnym przebiegu, co powoduje, że tak wytworzona kość charakteryzuje się małą wytrzymałością mechaniczną. U dorosłych tkanka kostna grubowłóknista występuje w szwach kostnych pokrywy czaszki, w wyrostkach zębodołowych, w błędniku kostnym ucha wewnętrznego i w miejscach przyczepu ścięgien do kości. Powstaje także w przebiegu gojenia się złamań i ubytków kości, gdzie po pewnym czasie jest stopniowo zastępowana przez dojrzałą kość blaszkowatą. [36, 41, 76]

Tkanka kostna drobnowłóknista określana jest jako kość wtórna ze względu na to, że powstaje w miejscu tkanki kostnej grubowłóknistej. W budowie histologicznej przedstawia strukturę blaszkowatą. Blaszkki kostne zbudowane są z równolegle układających się włókien kolagenowych, nasyconych solami wapnia. Włókna kolagenowe budujące poszczególne blaszki przebiegają pojedynczo - nie skupiają się w pęczki i dlatego ten typ kości określany jest jako kość drobnowłóknista. Mariotti prowadząc badania porównawcze przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego oraz skanującego i transmisyjnego mikroskopu elektronicznego stwierdził, że kość blaszkowata zbudowana jest z blaszek o gęstym i luźnym upakowaniu włókien kolagenowych. Blaszkki te różnią się grubością, kierunkiem przebiegu włókien kolagenowych oraz zawartością wapnia i fosforu. [30, 76]

Tkanka kostna gąbczasta zbudowana jest z blaszek kostnych, które tworzą widoczną makroskopowo sieć rozgałęzionych beleczek, układających się w sieć podobną do "łuków gotyckich" zapewniając wysoką wytrzymałość mechaniczną nasadom i częściom przynasadowym kości długich. Ponad to kość gąbczasta stanowi zrąb kości płaskich i krótkich. Belecзки gąbczastej tkanki kostnej nie mają dokładnej osteonowej struktury, za wyjątkiem odcinków przy ich podstawie w pobliżu do kości zbitej. [84]

Tkanka kostna zbita tworzy trzony kości długich oraz cienką warstwę pokrywa tkankę gąbczastą nasad kości długich oraz innych kości. Zbudowana ona jest z czterech rodzajów blaszek:

- blaszek podstawowych zewnętrznych, które tworzą zewnętrzną warstwę kości zbitej;

- blaszek podstawowych wewnętrznych, które tworzą wewnętrzną warstwę kości zbitej;
- blaszki systemowe tworzące osteon;
- blaszki międzysystemowe, które są pozostałością po przebudowanych osteonach.

Podstawową jednostką tkanki kostnej blaszkowatej są blaszki kostne, które zbudowane są z równolegle ułożonych włókien kolagenowych impregnowanych solami wapnia. Włókna kolagenowe sąsiadujących blaszek rozmieszczone są pod kątem do siebie, co nadaje kości blaszkowatej dużą wytrzymałość. Pomiędzy blaszkami kostnymi w kostnych jamkach rozmieszczone są osteocyty. [23, 33]

Podstawową jednostką morfologiczno-czynnościową zbitej tkanki kostnej jest osteon. Przedstawia się on w postaci walca przebiegającego równolegle do długiej osi kości. W centrum osteonu znajduje się wysłany śródkostną kanał osteonu, o średnicy około 50  $\mu\text{m}$  [93], w którym znajdują się naczynia krwionośne i nerwy otoczone warstwą tkanki łącznej wiotkiej. Naczynia tkwiące w kanale osteonu prezentują typ naczyń włosowatych lub żył o małej średnicy. Kanały osteonów są połączone z powierzchnią kości oraz jamą szpikową przez kanały odżywcze. Do kanałów odżywczych od strony okostnej wnikają naczynia odżywcze [88].

Kanały osteonów otacza 10-15 koncentrycznie ułożonych blaszek kostnych przyjmujących formę cylindrów znajdujących się jeden w drugim. Włókna kolagenowe w blaszkach osteonu mają przebieg równoległy, natomiast w blaszkach sąsiadujących układają się pod różnymi kątami. Cylindryczny układ blaszek, naprzemienny przebieg oraz wyprostny system włókien kolagenowych w poszczególnych blaszkach wchodzących w skład osteonu zwiększają jego wytrzymałość mechaniczną, zapewniając odpowiednią odporność na zginanie i złamanie. Pomiędzy blaszkami tworzącymi osteon znajdują się jamki kostne, w których umieszczone są osteocyty. Od jamek odchodzą kanaliki kostne zawierające wypustki osteocytów i płyn śródtkankowy. Kanaliki kostne odchodzące od poszczególnych jamek łączą ze sobą jamki kostne danego osteonu w jeden system wypełniony komórkami i płynem śródtkankowym. W blaszce ze-

wewnętrznej danego osteonu kanaliki tworzą pętle, które nie łączą się z kanalikami sąsiedniego osteonu. Dzięki takiemu systemowi zespół komórek kostnych tkwiących w osteonie tworzy samodzielną jednostkę odżywaną przez naczynia krwionośne znajdujące się wewnątrz kanału osteonu. Z naczyń tych do kanalików i jamek kostnych przesącza się płyn śródtkankowy, zapewniając odżywianie osteocytów w obrębie jednego osteonu. [23, 31]

Powierzchnie kości pokrywa okostna zbudowana z dwóch warstw: leżącej na zewnątrz warstwy włóknistej i przylegającej do kości warstwy rozrodczej, zawierającej komórki osteogenne. Jamy szpikowe, kanały odżywcze i kanały osteonów oraz belecзки kości gąbczastej pokrywa śródkostna. Dzięki działaniu komórek osteogennych wewnętrznej warstwy okostnej, powstają blaszki podstawowe zewnętrzne, a od strony śródkostnej blaszki podstawowe wewnętrzne. [36, 88]

### **2.3.2. Komórki tkanki kostnej**

W tkance kostnej można wyróżnić 5 rodzajów komórek.

Pluripotencjalne komórki osteogenne są obecne zarówno w rozwijającej się, jak i dojrzałej tkance kostnej, a podstawową funkcją tych komórek jest dzielenie się i różnicowanie w dojrzałe komórki kostne. Wyróżniono dwa typy komórek macierzystych dla komórek kostnych o nazwie preosteoblast i preosteoklast. W dojrzałej tkance kostnej znajdują się formy spoczynkowe tych komórek w rozrodczej warstwie okostnej i śródkostnej, a także w zrębie szpiku. [36]

Osteoblasty zajmują miejsce na powierzchni nowo powstającej tkanki kostnej, są komórkami syntezującymi kolagen, białka niekolagenowe oraz inne składniki macierzy tkanki kostnej, ponad to są aktywnie zaangażowane w proces mineralizacji [69]. Osteoblasty, które zakończyły cykl syntezy macierzy organicznej i włókien kolagenowych, stają się osteocytami. Osteoblasty mają wypustki cytoplazmatyczne, którymi łączą się między sobą, a także z osteocytami położonymi w tkance kostnej, co zapewnia transport jonów i innych rozpuszczalnych w wodzie związków drobnocząsteczkowych pomiędzy komórkami. [36, 69]

Osteocyty są głównymi komórkami całkowicie ukształtowanej kości. Znajdują się w jamkach kostnych blaszek i poprzez sieć wypustek położonych w kanalikach kostnych tworzą między sobą połączenia komunikujące typu "nexus". Owe wypustki stykają się także z wypustkami osteoblastów położonych na powierzchni kości oraz naczyniami włosowatymi. Umożliwia to przepływ związków małowcząsteczkowych i jonów z naczyń krwionośnych do płynu tkankowego oraz z jednej komórki do drugiej. Osteocyty zachowują integralność substancji międzykomórkowej kości, chroniąc ją przed resorpcją przez osteoklasty. [13, 18, 70]

Osteoklasty są dużymi komórkami tkanki kostnej pochodzenia szpikowego, leżącymi na powierzchni resorbowanej kości w zatokach erozyjnych. [52, 118] Aktywne osteoklasty resorbujące kość leżą w jamkach na powierzchni kości. W zwiększonej liczbie występują w miejscach, gdzie zachodzi aktywne modelowanie i przebudowa wewnętrzna tkanki kostnej. [18, 27, 61, 118] Komórki te posiadają rąbek szczoteczkowy, który znacznie zwiększa powierzchnię kontaktu komórki z powierzchnią resorbowanej kości oraz warunkuje prawidłową funkcję resorpcyjną osteoklastów. Po zaprzestaniu resorpcji tkanki kostnej osteoklasty migrują z powierzchni kości do powierzchni przyległych do szpiku, gdzie ulegają degradacji. [13, 62, 105, 107]

Komórki powierzchni kości [13, 36] pokrywają większość powierzchni kości w dojrzałym organizmie. Komórki te służą prawdopodobnie jako jonowa bariera oddzielająca płyn śródtkankowy od substancji przenikających przez osteocyty oraz system kanalikowy i zatokowy podtrzymując mineralną homeostazę kości [71]. Przeznaczenie osteocytów powierzchni kości nie jest jeszcze w pełni wyjaśnione.

### 2.3.3. Substancja międzykomórkowa kości

Przestrzenie międzykomórkowe tkanki kostnej wypełnione są dużą ilością zmineralizowanej substancji międzykomórkowej, która składa się z substancji organicznej zwanej macierzą, związków mineralnych oraz wody. Zasadniczym składnikiem organicznym obejmującym około 90-92% substancji międzykomórkowej jest kolagen typu I grupujący się w tropokolagen, który jest specyficznym uporządkowany we włókna. [19, 81, 83] Pozostałe 8-10% substancji międzykomórkowej przedstawione są białkami niekolagenowymi, jak osteokalcyna, osteonektyna, osteopontyna i sialoproteina, proteoglikany, fibronektyna, trombospondyna, fosfataza zasadowa, białka morfogenetyczne i inne białka oraz lipidy. [29]

Substancje mineralne stanowią od 65 do 70% wagowych suchej masy odtłuszczonej tkanki kostnej, z których ponad połowę zajmują odmiany hydroksyapatytu  $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ . Jego kryształy mają bardzo małe wymiary, przyjmują kształt igiełek, płytek, listków i są równomiernie ułożone pomiędzy cząsteczkami tropokolagenu. [19]

**Tab. 1.** Najczęściej spotykane odmiany apatyty hydroksylogowego zidentyfikowane w układzie kostnym człowieka.

| Fosforan wapnia         | Struktura                                    |
|-------------------------|--|
| • apatyt hydroksylogowy | $(Ca,w)_{10}(PO_4,x)_6(OH,y),$               |
| • apatyt węglanowy -    | $(Ca_{10-x}Na,x)(PO_4,x)_{6-x}(CO_3)x(OH)_2$ |
| • hydroksyfluoroapatyt  | $Ca_{10}(PO_4)_6(F,OH)_2$                    |
| • fluoroapatyt          | $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$                         |

Źródło: Ferguson D.B. : Oral Bioscience. : University of Manchester, UK, 1999, p.41, table 2.4.

Legenda:

w – Na, Mg, K, Sr

x –  $CO_3$ ,  $HPO_4$

y – Cl, F

Mineralizacja kości w okresie dojrzewania to postępujący proces krystalizacji hydroksyapatytu na podłożu biologicznym jakim są włókna białkowo - kolagenowe. [80] Proces mineralizacji odbywa się pod kontrolą wyspecjalizowanych komórek, ich organelli, takich jak mitochondria i pęcherzyki macierzy, bądź też substancji produkowanych przez te komórki. Jednak istnieją poglądy, że większy wpływ na proces mineralizacji mają białka niekolagenowe i inne składniki macierzy organicznej tkanki chrzęstnej i kostnej.

Apatyt kostny nie zawsze jest jednorodny strukturalnie. Układ kostny osób przebywających na terenach skażonych metalami ciężkimi wykazuje podwyższoną zawartość tych metali (Pb, Zn, Cd). W kościach osób zamieszkałych w rejonie hut aluminium potwierdzono wysokie stężenie jonów fluorkowych, co jest następstwem przemiany hydroksyapatytu w apatyt fluorkowy pod wpływem fluorowodoru. [28, 43, 83]

## **2.4. Fizjologia kości**

### **2.4.1. Wzrost kości**

Dzięki współistnieniu procesów osteogenezy i osteoresorpcji zachodzi wzrost kości, co powoduje modelowanie kształtu i rozmiarów kości. Proces modelowania przebiega w sposób ciągły przez całe życie we wszystkich strefach kości. [36]

Powstające na podłożu łącznotkankowym kości rosną dzięki obecności komórek osteogennych okostnej oraz w obszarze tkanki błoniastej oddzielającej zawiązki poszczególnych kości. Liczne komórki osteogenne różnicują się w osteoblasty, które syntezują pierwotną tkankę kostną. [7]

Wzrost kości powstających na podłożu chrzęstnym odbywa się głównie dzięki wewnętrznemu wzrostowi chrząstki, która jest systematycznie zastępowana przez pierwotną tkankę kostną. [40, 41]

## 2.4.2. Modelowanie strukturalne

Wynikiem skoordynowanej działalności komórek kostnych jest modelowanie strukturalne i wewnętrzna przebudowa tkanki kostnej, która składa się z procesu resorpcji na skutek działalności osteoklastów i regeneracji za pomocą osteoblastów. Przewaga jednego z wyżej wymienionych procesów zależy od wielu czynników wewnętrznych i zewnętrznych, działających ogólnie i miejscowo, co wprawdzie doprowadza do obumarcia konkretnego osteonu, a następnie w miejscu obumarłego powstaje nowy, jako rezultat procesu modelowania i przebudowy wewnętrznej tkanki kostnej. Procesy te z różnym nasileniem trwają przez całe życie człowieka zarówno w kości gąbczastej, jak i zbitej.

Modelowanie strukturalne doprowadza do wzrostu kości na długość i grubość. Zachodzi zasadniczo w okresie wzrostu i rozwoju organizmu. [38]

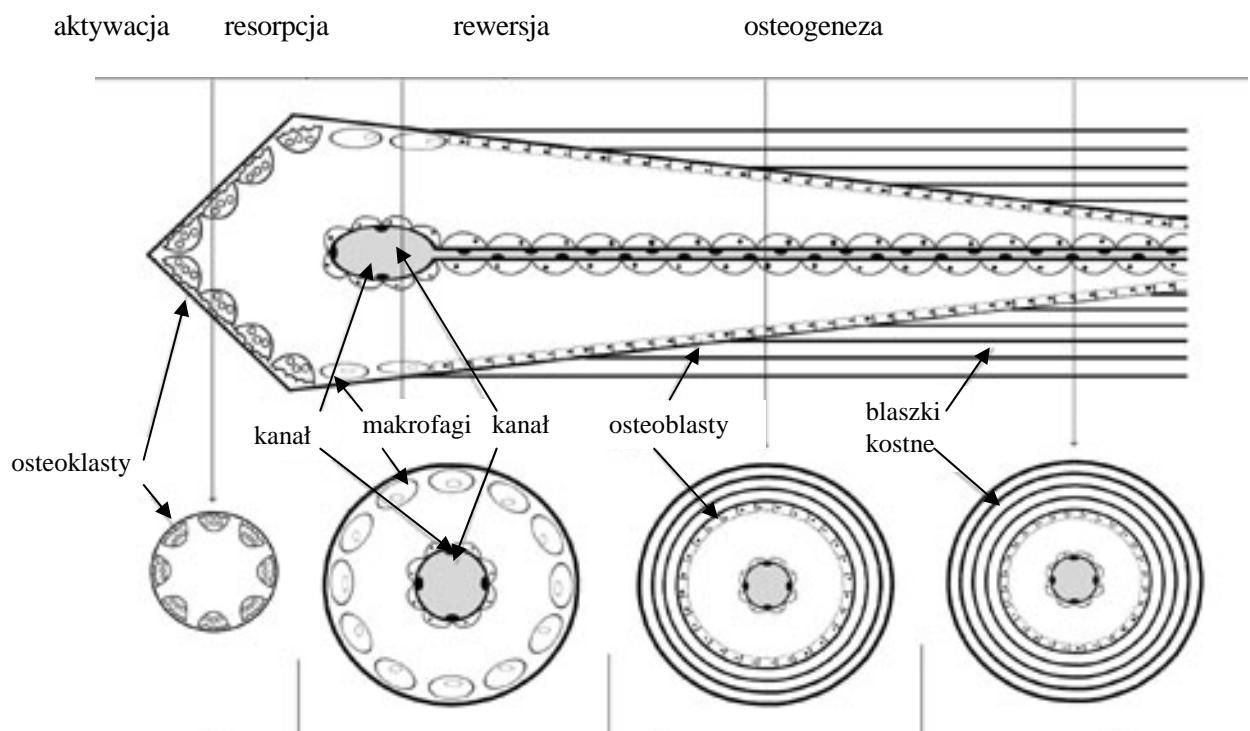
Modelowanie strukturalne ma na celu przystosowanie struktury kości do przeciwdziałania sile grawitacji oraz pełnienia określonych funkcji mechanicznych, co tłumaczy duży wpływ na modelowanie oddziaływanie sił mechanicznych, jakie występują w czasie aktywności fizycznej. Jednak należy zwrócić uwagę, że sposób przebudowy i jej intensywność są uwarunkowane genetycznie, a duży wpływ na utrzymanie homeostazy tkanki kostnej ma oddziaływanie hormonów oraz witamin.

Kość w dojrzałym organizmie nie jest tą samą tkanką, która występowała w okresie młodzieńczym, a jednak modelowanie występuje również u osób dorosłych, jako odpowiedź tkanki kostnej na działające bodźce, np. zwiększone obciążenia, do których odpowiednio dostosowuje się struktura kości. [1, 64]

Proces modelowania strukturalnego kości odbywa się w kilka etapów, w każdym z których wiodącą rolę przyjmują określone komórki kostne. Wprawdzie odcinek kości, w którym rozpoczyna się proces modelowania, „zaznacza się osteocytami” za pomocą specyficznych cytokinów - faza aktywacji. Na tym etapie niszczy się protekcyjna warstwa kostnej macierzy, a do tego obszaru migrują pre-osteoklasty, które następnie się aktywują w osteoklasty. Aktywacja osteoklastów do procesu osteoresorpcji [166] jest uzależniona od: komórek i ich lokalizacji, mineralizacji kolagenu oraz poziomu jonów wapnia, modulacji hormonalnej

przez osteoblasty (PTH, cytokiny, prostaglandyny), retrakcji komórek wyścielających powierzchnię kości. Po fazie aktywacji następuje faza resorpcji. W tym czasie osteoklasty resorbując macierz powodują demineralizację macierzy kostnej oraz powstanie zatok erozyjnych. W wyniku aktywnego działania osteoklastów dochodzi do wypłukania jonów wapnia, degradacji macierzy tkanki kostnej oraz uwolnienia odpowiednich polipeptydowych czynników wzrostu. Za pomocą obecnych w obszarze resorpcji makrofagów, odbywa się destrukcja organicznych elementów tkanki międzykomórkowej oraz przygotowanie powierzchni resorbowanej kości do adhezji osteoblastów – faza rewersji. Do modelowanego obszaru tkanki kostnej migrują pre-osteoblasty, które zasiedlają zatoki erozyjne i rozpoczynają fazę osteogenezy. Aktywne osteoblasty syntezują i mineralizują nową macierz, która podlega procesowi dojrzewania (tworzenie wewnątrz- i międzycząsteczkowych wiązań między włóknami kolagenowymi), a następnie mineralizacji. Dochodzi więc do powstania osteonów, które w wyniku pojawienia się kolejnych jednostek przebudowy zastępują osteony pierwotne i tworzą osteony następnych generacji. [6, 8, 12, 21, 39]

**Ryc. 1. Fazy przebudowy wewnętrznej tkanki kostnej.**





## **2.5. Proces identyfikacji szczątków ludzkich.**

Identyfikacja szczątków ludzkich jest złożonym procesem, który często się wiąże z takimi trudnościami jak brak możliwości pobrania tkanek miękkich do badań genetycznych, obecność jedynie pojedynczych mało informatywnych kości bądź ich fragmentów dla badań antropologicznych. [96, 104] Powyższe zmusza biegłego do wykorzystania każdego możliwego badania i oceny wszystkich cech, które mogą być przydatne w identyfikacji i ustaleniu przynależności gatunkowej szczątków, wieku, płci i wzrostu osoby, do której należały.[56, 68]

Jeśli w danym przypadku możliwe jest przeprowadzenie badań genetycznych, ważne jest ustalenie przynależności gatunkowej oraz cech grupowych jeszcze przed rozpoczęciem tych badań, co spowoduje dużą oszczędność w przypadku badania fragmentów szczątków zwierząt. Przeprowadzenie alternatywnych badań w przypadku badania szczątków ludzkich pozwoli nam zmniejszyć ilość grupy wśród poszukiwanych osób, a tym samym skróci czas niezbędny do wykonania badań, co ma wyjątkowe znaczenie podczas badania szczątków masywnych katastrof bądź konfliktów wojennych.[35, 87, 96]

Jednym z podstawowych pytań antropologii sądowej jest ustalenie przynależności gatunkowej szczątków oraz szacunkowe ustalenie wieku człowieka na podstawie szkieletu.

### **2.5.1. Ustalenie przynależności gatunkowej.**

W 1965 roku Gladyshev Y. M. porównał szlify kostne kości ludzkich ze zwierzęcymi. Zostały zbadane szlify kości długich osób obu płci w różnym wieku, od 6 miesięcy do 86 lat, oraz szlify kostne wykonane z kości udowych zwierząt: świnki morskiej, szczura, królika, małpy, owcy, niedźwiedzia. Powyższe badanie wykazało, że tylko dla kości zbitych ludzkich charakterystyczne jest przebudowa większości osteonów wtórnych oraz wielokrotna (co najmniej czterokrotna) przebudowa części z tych osteonów.

Takie cechy, jak obecność pierwotnych zatok tuż przy kanale kości długiej, rozmieszczenie osteonów pierwotnych w kształcie sieci, rozmieszczenie pierwotnych i wtórnych osteonów równoległe do powierzchni i prostopadle do długiej osi kości nie są typowe dla człowieka, tylko dla ssaków innych gatunków. [51, 63, 79, 119]

### **2.5.2. Działanie wysokiej temperatury na tkankę kostną.**

Thompson w 2005 roku badał wpływ wysokiej temperatury na kości długie owiec. Do badań zostały zabezpieczone 60 kości, które były macerowane w ciepłej wodzie, a po usunięciu miękkich tkanek i po wysuszeniu każda z badanych kości była zmierzona. W badaniu temperatura sięgała 900°C, a czas ekspozycji trwał od 15 do 45 minut. Celem badania było stwierdzenie pochodzenia zachodzących zmian tkanki kostnej pod wpływem temperatury, jakie mikroskopowe zmiany występują w tkance kostnej, oraz wskazanie wpływu rejestrowanych zmian na wyniki badań antropologicznych. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, iż pod wpływem temperatury zmienia się kształt oraz zmniejsza się masa i objętość kości, zmniejsza się gęstość tkanki przez powstanie wolnych przestrzeni w tkance kostnej od widocznych makroskopowo szczelin do wolnych mikroobszarów. Zmiany te są głównie spowodowane utratą wody oraz substancji organicznej tkanki kostnej. Badania wykazały, że zmiany w wymiarach kości mogą sięgać 37% od pierwotnych wymiarów, co powoduje duży w błąd w badaniach makro- i mikrometrycznych kośćca. [22, 113, 119]

W 1980 roku Gołubowicz L. L. zbadał spalone ludzkie oraz zwierzęce szczątki kostne. Metoda była przygotowana w ten sposób, iż zabezpieczone do badania fragmenty kości były umieszczone w piecu w temperaturze 400°C do czasu, aż kolor całości zabezpieczonych fragmentów był jasno-szary. Część z zabezpieczonych fragmentów pod wpływem wysokiej temperatury były rozkruszone, jednak nie były wyeliminowane z grupy badawczej. Wynikiem powyższego badania było to, iż w badaniu histologicznym można było wykazać cechy gatunkowe charakterystyczne wyłącznie dla człowieka bądź zwierząt bez

względu na rozfragmentowanie niektórych z zabezpieczonych preparatów. Ponadto została określona jeszcze jedna z cech odróżniająca kość zwierzęcą - obecność znacznej ilości kości o utkaniu grubwłóknistym w przestrzeniach pomiędzy osteonami oraz odcinkami kości o utkaniu drobnwłóknistym. Podobne wyniki były uzyskane i przez innych badaczy. [22, 86, 119]

### **2.5.3. Ustalenie wieku szczątków za pomocą badań mikroosteometrycznych.**

Jedną z najbardziej istotnych w identyfikacji cech jest wiek osoby, do której należały szczątki. W utkaniu kostnym pozostają ślady wtórnej przebudowy i modelowania strukturalnego kości, które trwają przez całe życie człowieka, a stopień zaawansowania tego modelowania strukturalnego zależy od ilości cykli przebudowy osteonów, które zdążyły się odbyć w danym obszarze anatomicznym w czasie życia tej osoby. [53]

W histologii sądowo-medycznej podstawową metodą ilościowej oceny obrazu mikroskopowego jest morfometria. Metoda ustalenia wieku, która polega na obliczeniu ilości elementów obrazu mikroskopowego tkanki kostnej była wprowadzona przez Kerley E.P. w 1965r. [54] Metoda Kerley E.P. polegała na zbadaniu kości udowych, piszczelowych i strzałkowych zabezpieczonych od 126 osób obojga płci w wieku od urodzenia do 95 lat. Preparaty w postaci szlifów kostnych wykonano z przekrojów poprzecznych przez środkową część trzonu. Badania histomorfometryczne przeprowadzono w obrębie czterech okrągłych pól o średnicy równej średnicy pola widzenia mikroskopu (1,62 mm). Badane pola znajdowały się w przeciwległych biegunach osi strzałkowej i osi poprzecznej przekroju kości, stycznie do jego zewnętrznej krawędzi. Zostały obliczone liczby całkowitych osteonów, liczby fragmentów zresorbowanych osteonów, powierzchnie międzysystemowych blaszek kostnych oraz liczby kanałów niehaversowskich. Na podstawie wartości sumy cech z wszystkich pól wyznaczono równania regresji, w których wiek jest zmienną zależną a liczba cech zmienną niezależną. Autor badał liczebność 4 cech w preparatach z trzech typów kości i przedstawił 12 równań regresji. [54, 55]

Badania Pfeiffera i wsp. [85] zwróciły uwagę na to, iż proces przebudowy kości udowej wzdłuż osi mechanicznych wykazuje znacznie mniejszą zmienność regionalną niż wzdłuż osi anatomicznych. Autorzy proponowali zmienić umiejscowienie pól, w których zlicza się osteony w powyższej metodzie, by uniknąć błędnego obliczenia obszarów kości, na którą było wywierane znaczne działanie mechaniczne.

W 1965r rosyjski naukowiec Gladyshev Y.M. wprowadził klasyfikację osteonów wtórnych i systemów osteonowych dla histologicznych metod określenia wieku [74] co było wykorzystywane także przez innych naukowców dla opracowania kryteriów oceny wieku badanych zwłok czy oceny wieku szczątków na podstawie badań struktury kości ramiennej, udowej i piszczelowej. Niedawno przeprowadzone badania w tej dziedzinie wykazały, że oryginalne wykresy zaproponowane przez Kerley E.P. wskazują bardziej dokładne wyniki. [14, 101] Po przeprowadzeniu analizy porównawczej kilku metod morfometrycznych zauważono, że metody Kerley'a oraz jej modyfikacje, a tym bardziej metoda Gladysheva posiadają znaczne wady, a trudności wynikają głównie podczas różnicowania elementów i form osteonów czy innych badanych elementów, co prowadzi do niepewności w obliczeniu oraz zafałszowania wyników badań. [34, 74, 79] Powyższe procedury badawcze wykorzystane do histomorfometrycznej oceny wieku różnych kości znacznie komplikują metodę, nie zwiększając przy tym jej dokładności. W związku z powyższym Ahlqvist i Damsten [3] zaproponowali modyfikację metod poprzedników, zmniejszając ilość badanego materiału do zabezpieczenia jedynie określonego elementu z trzonu kości udowej, a podstawą analizy wieku była ocena tylko jednego parametru - procentowy udział całkowitej powierzchni przebudowywanej w łącznej powierzchni czterech badanych pól. Poprzez powierzchnię przebudowywaną należy w tym wypadku rozumieć sumę powierzchni pełnych osteonów i fragmentów osteonów. Poza tym został zmieniony kształt badanego pola z kulistego na kwadratowe, co ułatwiło analizę struktur zlokalizowanych na jego krawędziach oraz lokalizację badanych pól. Ahlqvist i Damsten zauważyli, iż zaproponowane przez Kerleya umiejscowienie jednego z pól w bezpośrednim

sąsiedztwie kresy chropawej może w opinii autorów prowadzić do błędnych wyników z powodu włączenia do analizy zmian nie związanych z wiekiem, powstałych w wyniku reakcji kości na czynniki mechaniczne w miejscu przyczepu mięśniowego. Dlatego też badane przez nich pola zostały przesunięte pod kątem 45 stopni w stosunku do pól badanych przez Kerleya. Na podstawie analizy preparatów mikroskopowych z materiału pobranego od 20 osób autorzy wyprowadzili równanie regresji dla oceny wieku. Jednak metoda ta bez względu na dużą łatwość w jej przeprowadzeniu w porównaniu do poprzednich metod posiadała również pewne wady, a mianowicie większy błąd estymacji w porównaniu do metody Kerleya, co powoduje mniejszą dokładność, związaną między innymi z wykorzystaniem materiału pochodzącego jedynie od 20 osób, z których większość przekroczyła 45 rok życia. [3, 16, 54]

Singh i Gunberg [93] dla swoich badań pobierali materiał z trzonów kości udowych i piszczelowych oraz z ramion żuchwy. Powyższe próbki pochodziły ze zwłok 52 mężczyzn w wieku od 39 do 87 lat. Preparat obejmował jedynie fragment przekroju poprzecznego o szerokości ok. 1 cm, a długość stanowiła odległość pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną krawędzią kości. W 19 przypadkach z kości ramion żuchwy zostały wykonane szlify kostne, w 40 przypadkach dokonano odwapnienia kości przy pomocy mieszaniny roztworów formaliny i kwasu mrówkowego. Badania morfometryczne obejmowały określenie całkowitej liczby osteonów w badanych polach, średnią liczbę blaszek kostnych przypadających na osteon oraz średnią najmniejszą średnicę kanału Haversa w obrębie dwóch losowo wybranych pól widzenia mikroskopu, o średnicy 2mm. Badania wykazały występowanie silnych korelacji badanych cech z wiekiem zwłaszcza w przypadku całkowitej liczby osteonów oraz średniej liczby blaszek przypadających na jeden osteon, jednak w przypadku średnicy kanału Haversa nie stwierdzono zależności zachodzących z wiekiem. Wyprowadzone do obliczeń równania regresji wielokrotnej z uwzględnieniem kombinacji wyżej wymienionych cech jako zmiennych niezależnych sprawiły, że wartości standardowego błędu estymacji były mniejsze w porównaniu z metodą Kerleya, co wskazuje na możliwość dokładniejszej oceny wieku. Poważną wadą

tej metody były ograniczenia dotyczące wykorzystania materiału pochodzącego jedynie od mężczyzn w wieku starszym niż 39 lat, co może spowodować uzyskanie fałszywych wyników przy zastosowaniu tej metody w przypadku oceny wieku kobiet, bądź osób obojga płci w wieku poniżej 40 lat.

Wykorzystując materiał pochodzący od 13 osób w wieku powyżej 12 lat Stout i Gehlert [101] dokonali pewnej modyfikacji wyżej opisanej metody. Badacze zaproponowali wykorzystać preparaty o grubości około 10  $\mu\text{m}$ , wykonane z kości odwapnionej, co powoduje dziesięciokrotnie mniejszą grubość preparatu w porównaniu do poprzedników. Uzyskane wyniki badań wykazały pewne błędy w ocenie wieku w zakresie od 12 do 49 lat, a sami autorzy tłumaczą zaobserwowane rozbieżności występującymi różnicami metodycznymi.

Thompson [111] w swojej metodzie wziął pod uwagę ograniczone możliwości w niektórych przypadkach pobrań do badań histologicznych wystarczająco dużych wycinków tkanki kostnej. Autor opracował metodę z wykorzystaniem próbek o średnicy około 4mm zabezpieczanych z przedniej powierzchni środkowej części trzonów kości udowych, z przyśrodkowych powierzchni środkowej części trzonów kości piszczelowych i ramiennych oraz z bocznej powierzchni dystalnego końca kości łokciowej. Autor analizował kompleksowo: grubość, masę i gęstość istoty zbitej, gęstość kości, wskaźnik mineralizacji kości, odsetek powierzchni zajmowanej przez blaszki kostne osteonów, odsetek powierzchni zajmowanej przez kanały Haversa, łączny procentowy udział osteonów i kanałów Haversa w polu widzenia mikroskopu, liczbę osteonów wtórnych, liczbę kanałów Haversa, stosunek powierzchni osteonów do ich liczby, stosunek powierzchni kanałów Haversa do ich liczby, łączną średnicę osteonów, łączną średnicę kanałów Haversa. Jednak ze względu na to, iż do badania zabezpiecza się tylko jeden bardzo mały obszar, mogą powstać znaczne błędy w trakcie pobrania materiału oraz podczas przygotowania preparatów histologicznych, co prowadzi do uzyskania fałszywych wyników, jak zaznaczył Stout analizując tę metodę [102].

Nainis także był zainteresowany określeniem wieku szczątków na podstawie badania histologicznego oraz mikrorentgenologicznego szlifów kostnych oraz

badał preparaty kości odwapnionych. Zostały zbadane powyżej 800 mikro zdjęć rentgenowskich oraz około 4000 preparatów histologicznych. W wyniku tych badań największą uwagę naukowca zwróciły na siebie takie cechy histologiczne, jak rozwój oraz grubość blaszek podstawowych zewnętrznej oraz wewnętrznej, wielkość i rodzaj osteonów oraz kanałów Haversa, wielkość zatok resorpcyjnych. [74]

Antropolodzy sądowi często pracują ze szczątkami, w których brakuje dość znaczna część kości. Powoduje to brak możliwości wykorzystania pewnych metod dla określenia wieku. Biorąc to pod uwagę Stout i Paine [103] zaproponowali wykorzystanie żeber i obojczyka. Materiał był pobrany podczas sekcji 40 osób obojga płci w wieku 13-62 lata i stanowił trzecie i czwarte lewe żebra oraz lewy obojczyk. Preparaty zostały wykonane z przekrojów poprzecznych środkowej części trzonu każdego żebra i obojczyka. Analizowano wielkość powierzchni istoty zwartej, gęstość całkowitych osteonów, gęstość fragmentów osteonów oraz całkowitą widoczną gęstość osteonów. W wyniku badania uzyskano dużą korelację pomiędzy zmianą wieku a charakterystyką wyżej wymienionych cech i parametrów pomiarowych. Wiek oszacowany na podstawie wyprowadzonych równań regresji nie różnił się istotnie od rzeczywistego wieku badanych osób.

Zviagin zauważył, iż w wielu przypadkach ocena wieku nie jest możliwa z powodu wykorzystania metod ograniczonych do określonego typu materiału, zwłaszcza gdy niezbędne do badania kości nie zachowały się, gdy są dotknięte zmianami patologicznymi lub gdy są w znacznym stopniu uszkodzone. [119] Ponadto w piśmiennictwie naukowym zwraca się uwagę na istotny wpływ czynników mechanicznych na mikrostrukturę kości kończyn dolnych, co z kolei wpływa na dokładność oceny wieku. [26, 103] W celu zwiększenia ilości możliwych metod oceny wieku szczątków w 1988 roku autor ten opracował metodę określenia wieku na podstawie badania histologicznego kości czaszki. Grupę badawczą stanowiły osoby obojga płci w wieku od 1 do 85 lat. Autor zabezpieczał wycinki sklepienia czaszki, a mianowicie lewej części kości czołowej, o grubości do 5mm, z okolicy środkowej części szwu strzałkowego, ze

szczytu guza czołowego oraz szczytu zatoki czołowej. Z zabezpieczonych wycinków były wykonane szlify o grubości nie więcej niż 100 $\mu$ m. Wykonano pomiary grubości kości czołowej, grubości blaszki zewnętrznej oraz wewnętrznej. Obliczeniu ilościowemu poddano jedynie osteony wtórne według ich klasyfikacji zaproponowanej przez Gladysheva. Oprócz tego w metodzie tej opracowano badanie stopnia mineralizacji, na podstawie badania mikro zdjęć rentgenowskich. W oparciu o wyniki badań wyprowadzono równania regresji wielokrotnej dla oznaczenia wieku dla każdej z badanych cech, jako zmiennych niezależnych. Powyższa metoda pozwala na ustalenie wieku z dokładnością  $\pm 1/6-1/8$  od średniej wartości wieku stwierdzonego według metody. Należy jednak zwrócić uwagę na pewne trudności techniczne w wykonaniu tej metody, oraz możliwość popełnienia błędu na etapie odpowiedniego zakwalifikowania cech histologicznych. Ponad to w metodzie tej z cech histologicznych były wzięte pod uwagę jedynie modyfikacje osteonów wtórnych, a inne elementy, jak powierzchnia blaszek kostnych międzysystemowych były pozostawione bez odpowiedniego wykorzystania. [10, 75, 78]

W 1995 roku Simon zaproponował wykorzystanie histologicznej metody określenia wieku na podstawie badania preparatów kości potylicznej. Materiał został zabezpieczony ze zwłok 17 mężczyzn w wieku od 20 do 70 lat. Do badań były pobierane próbki kości potylicznej jej lewej części w pobliżu punktu *lambda* (trójniak), z których następnie wykonano preparaty histologiczne kości nieodwapnionej o grubości do 80 $\mu$ m. W metodzie zostały uwzględnione takie cechy jak osteony pierwotne, osteony wtórne, procentowy udział powierzchni zajętej przez fragmenty osteonów wtórnych oraz powierzchni zajętej blaszkami międzysystemowymi. Został obliczony współczynnik dla każdej z cech  $V_a = P_a/P_t$ , gdzie  $V_a$  - indeks określonej cechy,  $P_a$  - ilość analizowanych punktów danej cechy,  $P_t$  - ogólna liczba analizowanych punktów. W każdym z badanych preparatów zostały przeanalizowane trzy pola widzenia na każdej (zewewnętrznej i wewnętrznej) blaszce kostnej. Wyprowadzono równanie liniowej regresji dla parametrów pomiarowych z wykorzystaniem blaszki kostnej zewnętrznej i wewnętrznej z osobna. Równocześnie wykazano, iż liczba osteonów



pierwotnych z czasem maleje, przy czym w próbkach zabezpieczonych od osób po 40 roku życia pierwotnych osteonów nie obserwowano. W obu blaszkach kostnych zarówno w strukturze wewnętrznej jak i zewnętrznej nie stwierdzono znacznych statystycznie zmian zachodzących z wiekiem w ilości osteonów wtórnych oraz fragmentów osteonów wtórnych. Niepowodzenie i niedoskonałość powyższej metody można wytłumaczyć bardzo małą liczebnością badanej grupy. [72, 78]

#### **2.5.4. Czynniki wpływające na dokładność badań mikroosteometrycznych**

Prowadzone są próby poszukiwania bardziej dokładnych metod dla ustalenia wieku szczątków na podstawie prostszej klasyfikacji mikroskopowych elementów tkanki kostnej. Trzeba bowiem wziąć pod uwagę zawsze szereg czynników, które mają wpływ na precyzję oceny wieku. [73, 77, 101]

Badania wykazały, iż na dokładność wyników ma wpływ zarówno rodzaj, jak i ilość wybranych elementów. Ocena wielu procedur wskazuje, że niewystarczająco dokładne wyniki były uzyskane najczęściej podczas badania mikroosteometrycznego trzonów kości długich pod kątem ustalenia wieku. [66, 67, 110] Błędem było przyjęcie niewystarczających ilości badanych elementów, jak np. w metodzie Kerleya dotyczyła wykorzystania tylko czterech elementów – liczba całkowitych osteonów, liczby fragmentów zresorbowanych osteonów, powierzchnia obwodowych blaszek kostnych oraz liczby kanałów niehaversowskich, podobnie jak w badaniach Simona, który poddał analizie jedynie trzy elementy mikroobrazu kości.

Aktualnie, dla uzyskania pewnych i wiarygodnych wyników kompleksowych badań pod kątem wieku szczątków ludzkich, niezbędne jest wykorzystanie najbardziej nowoczesnych metod obliczeń statystycznych z możliwością użycia nowoczesnych programów komputerowych. [2, 42, 112] Wybranie odpowiednich elementów i parametrów pomiarowych, przydatnych dla ustalenia wieku szczątków w znacznej mierze zależy od technicznych możliwości ich ustalenia oraz wyboru metody obliczeń korelacyjno-statystycznych. [75] Jedną z podstawowych możliwości morfometrii jest nie tylko obliczenie ilościowe

wybranych elementów, a także zmierzenie ich ilości i ich wykorzystanie z zastosowaniem programów komputerowych dla analizy obrazu mikroskopowego. [9, 75, 88] Przed komputeryzacją, dla przeprowadzenia takich ocen, były wykorzystywane siatki kalibracyjne, jednak uzyskane wyniki obliczeń nie zapewniały niezbędnej dokładności, bowiem możliwe były w tym przypadku obliczenia jedynie niewielu elementów. [11] Biorąc pod uwagę powyższe, należy zwrócić uwagę, że przy wykorzystaniu analizy ilościowej wybranych parametrów o wiele łatwiej jest opracować je statystycznie i przedstawić jako wynik końcowy przeprowadzonych badań. [2, 88, 112]

Obecnie uważa się, że najbardziej zbadane pod względem mikroosteometrycznym jest tkanka zbita trzonów długich kości [82, 112], co oczywiście jest związane z najdłuższym czasem zachowania tej części kości w warunkach biologicznej degradacji. Ponad to należy jednak zawsze pamiętać o możliwości wystąpienia materiału znacznie wyróżniającego się z grupy średniej należącej do tego samego wieku, co dotyczy według Königsberga L.W. [59] tkanki kostnej zabezpieczonej od osoby z patologią kości bądź złym stanem zdrowia [59, 60, 65, 75, 108]. Uwzględniając występowanie zmian struktury tkanki kostnej pod wpływem chorób i zaburzeń metabolicznych, podczas opracowania metody ustalenia wieku, do badań należy wykorzystać wyłącznie te kości, na których nie stwierdzono żadnych zmian patologicznych. W praktyce jednak niejednokrotnie ma się do czynienia ze szczątkami osób, które mogły doświadczyć opisanych zaburzeń, a badaczom nie jest to wiadome. Istnieje szereg ogólnoustrojowych, a także lokalnych czynników chorobowych, oddziałujących na przebieg procesu przebudowy kości. Zmiany te mogą w znacznym stopniu zmienić korelację pomiędzy wiekiem a liczbą składników tkanki kostnej. Wpływ tych czynników na stan tkanki kostnej jest widoczny dopiero po ich długotrwałym działaniu, nawet wtedy, jeśli jest ono bardzo intensywne. Zgodnie z dokonywanymi obserwacjami Stout [97, 100] wskazuje na metaboliczne zaburzenia związane z przemianą wapnia, osteoporozą, chorobą Pegeta, a nawet cukrzycą, w których notowano mniejszą liczbę osteonów w stosunku do typowej w danym wieku. [97]

Podczas opracowania metodyki badawczej ważnym jest uwzględnienie obszaru, z którego jest pobierana próbka kości zbitej, co związane jest z różną dynamiką zmian zachodzących z wiekiem w różnych kościach, oraz w różnych częściach tej samej kości. [79, 82] Zwrócono uwagę, że mikroobraz tkanki kostnej, który w znacznym stopniu zależy od mechanicznego działania na konkretny obszar kości, co tłumaczy asymetrię obrazu mikroskopowego prawych i lewych kości pochodzących z tego samego ciała, [85] oraz odchylenia od typowego modelu przebudowy tkanki kostnej w przypadki paraliżu lub niedowładu kończyn. Badania Stouta [98] wykazały, że kości kończyn pozbawionych aktywności w wyniku paraliżu charakteryzują się mniejszą całkowitą liczbą osteonów. Spostrzeżenie to potwierdzają wyniki badań wpływu obciążeń mechanicznych lub ich braku na tempo procesu przebudowy kości [26, 85].

Według Chan i wsp. [26], którzy badali kości udowe, istotne różnice tempa procesu przebudowy, stwierdzone w różnych miejscach tych samych kości, są konsekwencją odmiennych obciążeń mechanicznych; a zatem stan istoty kości zbitej jest odzwierciedleniem jej reakcji na długotrwałe naciski i naprężenia. Jeżeli dana kość lub jej część nie doświadcza takich obciążeń, wówczas całkowita liczba osteonów jest mniejsza w porównaniu do części stawiających większy opór czynnikom mechanicznym. [4, 46, 47]

Powyższe pozwala stwierdzić, iż wyniki badań mikroosteometrycznych w znacznym stopniu zależą od miejsca pobrania materiału.

Lokalna osobnicza zmienność liczby osteonów, widoczna zarówno w aspekcie całego szkieletu jak i w obrębie pojedynczych kości, stanowi kolejny problem związany z rzetelnością oceny wieku na podstawie cech tkanki kostnej. Badania histologiczne [85, 108] wykazały, że gęstość mikrostruktur tkanki kostnej jest zróżnicowana nie tylko pomiędzy różnymi częściami tej samej kości, ale również pomiędzy różnymi polami w obrębie jednego przekroju poprzecznego. W związku z tym opracowując metodykę badań należy również zwrócić uwagę na optymalny rozmiar próbki kostnej poddawanej analizie pod mikroskopem, bądź minimalny rozmiar próbki, jednak niezbędny dla uzyskania

wystarczająco dokładnych wyników badań. [50, 86] Po przeanalizowaniu obszernego piśmiennictwa stwierdzono, że zakres wielkości waha się w dość dużych granicach od 1,5mm do 50mm. [95, 109] Optymalny układ badawczy powinien uwzględnić ten fakt, iż zbadanie niewielkiej powierzchni kości może być niemiernodajne, a z drugiej strony badanie dość dużej powierzchni kości jest bardzo czasochłonne. W dostępnym piśmiennictwie są spotykane poglądy, iż wymiary analizowanej powierzchni mają wpływ na dokładność wyników z powodu różnicy przestrzennej orientacji i rozmieszczenia analizowanych elementów histologicznych. Na przykład dla badania warstwy zbitej kości udowej według jednych danych ten wymiar nie może być mniejszy niż 2.06 mm [95], a według innych około 4mm. [72] Ważnym jest jednak to, że rozmiar analizowanego fragmentu niewątpliwie powinien zależeć od jego lokalizacji.

Istotne znaczenie w kompleksowej interpretacji wyników badania ma także kwestia właściwego wykonania preparatów mikroskopowych. W celu zminimalizowania uszkodzeń badanego materiału oraz utraty części istotnych cech, rekomendowane jest wykorzystanie kości nieodwapnionych.

Dyskusyjnym pozostaje pytanie o wpływie rasy, zmienności międzypopulacyjnej, różnic płciowych na badany materiał, oraz możliwości ich interpretacji na parametry pomiarowe, skutkujące zmniejszoną dokładnością uzyskiwanych wyników. [114]

Zdecydowana większość badaczy uważa, iż różnice mikroobrazu tkanki kostnej spowodowane przynależnością osób do innych grup rasowych są nieznaczne i mogą być wytłumaczone różnicami w diecie oraz trybie życia osobników. [89, 90] Jednak inni uważają, że występujące pomiędzy populacjami różnice genetyczne oraz dotyczące środowiska i trybu życia, mają odzwierciedlenie w modelu przebudowy istoty kostnej zbitej. [97] W związku z tym proponowane równania regresji dla oznaczania wieku, wyprowadzone na podstawie badań określonej populacji, mogą być nieadekwatne do stanu biologicznego innej populacji, z której pochodzi identyfikowana osoba.

Należy zwrócić uwagę, że zdania naukowców są podzielone, co do niezbędności uwzględnienia płci osoby, do której należały badane szczątki,

i stworzenia równań regresji dla oceny wieku dla każdej płci wydaje się również uzasadnione. Propozycje i poglądy w tym zakresie zależą od badanych cech osobniczych oraz anatomicznej lokalizacji badanych fragmentów. [37, 57] Związane to jest z tym, że proces przebudowy kości u kobiet i mężczyzn ma nieco odmienny charakter [86, 97] zwłaszcza w starszym wieku, co niektórzy tłumaczą wpływem zmian hormonalnych u kobiet w okresie pomenopauzalnym. Z drugiej jednak strony opublikowano szereg doniesień naukowych, których autorzy twierdzą iż nie stwierdzili wyraźnych różnic związanych z płcią lub wyrażają pogląd, że różnice te są statystycznie nieistotne i nie mają wpływu na ocenę wieku. [32, 54, 93, 103]

Biorąc pod uwagę powyższe, podczas opracowania metody ustalenia wieku na podstawie obrazu histologicznego kości należy pamiętać, że jest określona granica dokładności badania, dla osiągnięcia którego niezbędnym jest przede wszystkim określenie optymalnego zestawu cech badawczych dla układu badania morfometrycznego, a struktury histologiczne powinny być dokładnie określone oraz proste do stwierdzenia przez specjalistę histologa.

## 2.6. Zmiany składu chemicznego kości zachodzące z wiekiem

Liczne badania procesu „starzenia się kości” wskazują, że z wiekiem obserwowane jest zjawisko demineralizacji, które prowadzi do niszczenia struktury kości tj. zmiany proporcji pomiędzy związkami organicznymi a nieorganicznym apatytem kostnym. W procesie tym ubywa komórek kostnych i innych elementów organicznych, a przybywa minerałów - apatytu. [5, 24] Komórki (osteoblasty, osteoklasty, osteocyty) funkcjonujące w tak zmineralizowanej kości mają znacznie bardziej utrudnione warunki funkcjonowania, w tym głównie kontakty z utrzymującym je przy życiu systemem krwionośnym. To utrudnione funkcjonowanie komórek kostnych jest związane z wydłużeniem średniej drogi transportu między wspomnianymi komórkami a układem krwionośnym. Utrudnienie to wynika stąd, że kość budując się w okresie dojrzewania organizmu doprowadza do takiego zjawiska, że komórki kostne tkwią sztywno w dojrzałej kości w masie kolagenowo - apatytowej. Mineralizacja i dorastanie kości powoduje proces, który można nazwać "samozamurowywaniem" się komórek. Oczywiście mają one kontakt z układem krwionośnym, jest on jednak dużo trudniejszy niż w przypadku kości młodych. [19, 23, 31]

Wspomniane zjawisko powoduje trudniejsze docieranie z naczyń krwionośnych do komórek kostnych substancji odżywczych, m.in. mikroelementów i związków z grupy mukopolisacharydów. Wpływa to na gorsze odżywianie komórek kostnych. Z drugiej strony znacznie gorsze jest odprowadzenie produktów przemian i aktywności życiowej komórek. Produkty te to głównie  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  powstające z utleniania wielocukrów, jako substancje odpadowe muszą zostać odprowadzone do krwi żyłnej. [49, 58, 117]

Oba zjawiska tzn. doprowadzenie do komórek kostnych substancji odżywczych i odprowadzenie produktów przemian metabolicznych odbywają się mikrokanalikami kostnymi na zasadzie gradientu stężeń. Oznacza to, że stężenie wielocukrów jest największe w pobliżu transportującej krew tętniczki i zmniejsza się w kierunku komórek kostnych. Produkty powstałe po spalaniu wielocukrów, a więc  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  mają z kolei największe stężenie w najbliższym otoczeniu

komórek kostnych. Ich koncentracja zmniejsza się w stronę naczyń żylnych. To właśnie gradient stężeń odpowiada za przepływ wspomnianych substancji do i z komórek kostnych.

Warunki fizyko - chemiczne w rejonie niemal całkowicie "samozamurowanych" komórek kostnych są szczególne. W związku z trudnościami w odprowadzeniu z tego rejonu  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  tworzy się podwyższona ilość zdysocjowanego kwasu węglowego sprzyjająca tworzeniu się apatyty węglowego o podwyższonej rozpuszczalności w porównaniu z hydroksyapatytem. To zjawisko powoduje lokalne zakwaszenie środowiska i spadek wartości pH płynów pozakomórkowych najprawdopodobniej poniżej  $\text{pH}=6.6$ . Przy takim spadku pH, które dla krwi tętniczej wynosi około 7.2 wykrystalizowany na włóknach kolagenowych apatyt jest niestabilny i zaczyna się rozpuszczać. Powoduje to niszczenie wiązań kolagen-apatyt. Skutkiem tego zjawiska jest nie tylko niszczenie apatyty, lecz także niszczenie włókien kolagenowych, a więc cienienie, a następnie zanik beleczek kostnych. Opisane zjawisko jest groźne dla kości nie tylko poprzez osłabienie jej struktury wewnętrznej. W trwającym wiele lat procesie demineralizacji starzejącej się kości wyprowadzane są z niej poważne ilości wapnia i fosforu, które mogą w skrajnych przypadkach dochodzić nawet do jego ubytku w zakresie 1 kg w przeliczeniu na czyste pierwiastki. [58, 81, 115]

W 2004 roku Nakoskin po zbadaniu próbek kostnych zabezpieczonych z kości udowej zwłok 50 osób obojga płci w wieku od 17 do 84 roku stwierdził, iż zawartość kolagenu u mężczyzn i kobiet od wieku 22 lat stopniowo spada, jednak ten proces u kobiet postępuje nieco szybciej i w wieku 55 lat odnotowano u nich ponowny wzrost zawartości kolagenu, u mężczyzn wzrost poziomu kolagenu obserwuje się od 74 roku życia. Inni naukowcy twierdzą, iż pomiędzy zawartością kolagenu, a wiekiem nie ma istotnej statystycznie korelacji, i ten faktor nie można brać pod uwagę, jako znaczący przy ustaleniu wieku biologicznego. [44, 45] Zwrócono uwagę również na zmniejszenie zawartości kwasów nukleinowych oraz podwyższenie poziomu anionów. Najbardziej znaczące zmiany z wiekiem stwierdzono w ilości substancji nieorganicznych, w

tym wapnia ( $\text{Ca}^{+2}$ ), jonów fosforanów ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), jonów węglanowych ( $\text{CO}_3^{-2}$ ;  $\text{HCO}_3^-$ ). [25, 28, 29, 116]



### 3. Cel pracy

Założeniem pracy było wykazanie, czy za pomocą metod histologicznych oraz spektrofotometrii w podczerwieni można ustalić wiek zeszkieletowanych szczątków ludzkich, oraz określić przynależność gatunkową szczątków kostnych poddanych działaniu wysokiej temperatury - spaleniu.

Problem interdyscyplinarnego ustalenia tożsamości zeszkieletowanych szczątków ludzkich, najczęściej ofiar działań przestępczych, czy też wojennych ma zawsze wyjątkowe znaczenie w badaniach współczesnej kryminalistyki i medycyny sądowej. Szeroki aspekt praktyczny prowadzonych badań wynika ze skutków licznych zdarzeń, których następstwami są ofiary kataklizmów, katastrof lotniczych, zamachów terrorystycznych, pożarów, czy zwłoki ekshumowane z masowych grobów pochodzących z czasów wojennych.

Cele szczegółowe pracy dotyczą:

- porównanie metod przygotowania histologicznych preparatów tkanki kostnej, a mianowicie szlifów kostnych z odwapnionymi preparatami kości;
- porównania obrazu histologicznego preparatów tkanki kostnej pobranej z różnych odcinków jednej kości – obojczyka; określenie optymalnego miejsca pobrania materiału dla badań histologicznych;
- określenia elementów histologicznych zbitiej tkanki kostnej wykazujących istotne statystycznie zmiany zachodzące z wiekiem;
- określenie metod statystycznych przydatnych dla estymacji wieku szczątków kostnych;
- wskazanie optymalnej metody pod względem precyzji oraz ilości uwzględnianych parametrów histologicznych dla ustalenia wieku zeszkieletowanych szczątków ludzkich;
- określenie wpływu czynnika termicznego (spalenia) na histologiczny obraz tkanki kostnej zwłaszcza pod względem ustalenia jej przynależności gatunkowej
- zastosowanie metody spektrofotometrii w podczerwieni (IR Furiera - technika fazy stałej) w zakresie liczby falowej  $400-4000\text{cm}^{-1}$  dla celów

szybkiej identyfikacji szczątków kostnych człowieka, oraz wykazanie różnic podczas procesu starzenia organizmu, a także międzygatunkowych porównań struktury chemicznej kości człowieka, świni, krowy oraz kury.

Realizacja powyższych celów pracy może stanowić inspirację dla nowych interdyscyplinarnych programów badawczych współczesnej medycyny sądowej i kryminalistyki.

## 4. Materiał

Materiał do badań stanowią obojczyki lewe, które były pobrane podczas sekcji zwłok, wykonanych w latach 2005-2007 w Katedrze i Zakładzie Medycyny Sądowej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu, oraz fragment kości udowej świni, krowy oraz kury. W badaniu nie uwzględniano obojczyków, które podczas wykonywania sekcji wykazywały zmiany urazowe. Do badań histologicznych zakwalifikowano 64 obojczyki lewe ze zwłok osób obojga płci w wieku od 22 do 91 lat, oraz fragment kości udowej świni i kości udowej krowy. Jeden z fragmentów obojczyka człowieka został poddany działaniu wysokiej temperatury - spalaniu.

Przeanalizowano 87 szlifów kostnych przygotowanych w Katedrze i Zakładzie Medycyny Sądowej, z których 64 stanowiły preparaty trzonów obojczyka, 10 preparatów – szlify części kości z pogranicza końca bliższego i trzonu obojczyka, 10 preparatów - szlify części kości z pogranicza końca dalszego i trzonu obojczyka, 1 – szlif części trzonu spalonego obojczyka do szarego spopielenia (spalenia), 1 - szlif fragmentu kości udowej świni, 1 - szlif fragmentu kości udowej krowy.

Po przeprowadzeniu badania morfometrycznego oraz mikromorfometrycznego uzyskano wyniki, które przedstawiono w tabeli nr 2.

**Tab. 2. Dane ilościowe i procentowe uzyskane w badaniu morfometrycznym szlifów trzonów obojczyków.**

| Nr | Nr S.Z. | płeć, 0-M, 1-K | wiek, lata | DO, cm | SO, cm | GO, cm | IOs, ilość | KH >70, ilość | śr Ø KH, µm | PBM, % | POs, % | PFOs, % | śr GBZ, µm | KH >70, % |
|----|---------|----------------|------------|--------|--------|--------|------------|---------------|-------------|--------|--------|---------|------------|-----------|
| 1  | 297/05  | 1              | 60         | 14,3   | 1,04   | 0,9    | 148        | 30            | 59          | 4,1    | 30,4   | 65,5    | 77,8       | 20,2      |
| 2  | 298/05  | 0              | 40         | 14,8   | 1,08   | 0,98   | 104        | 5             | 38,1        | 22,1   | 24,6   | 53,3    | 160        | 4,8       |
| 3  | 300/05  | 0              | 40         | 15     | 1,1    | 1      | 116        | 8             | 44,8        | 20     | 32,3   | 47,7    | 112        | 6,9       |
| 4  | 301/05  | 0              | 47         | 16,1   | 1,2    | 1      | 92         | 8             | 42,5        | 8,2    | 20,3   | 71,8    | 98,8       | 8,6       |
| 5  | 309/05  | 0              | 46         | 14,6   | 1,1    | 0,9    | 120        | 16            | 46,8        | 12,3   | 26,7   | 61      | 88         | 13,3      |
| 6  | 310/05  | 0              | 40         | 15,1   | 1,2    | 0,92   | 106        | 5             | 37,9        | 24,3   | 27,1   | 48,6    | 138        | 4,7       |
| 7  | 312/05  | 1              | 66         | 13,3   | 1      | 0,88   | 148        | 32            | 60,2        | 3,1    | 28     | 68,9    | 72,2       | 21,6      |
| 8  | 314/05  | 0              | 33         | 14,2   | 1,03   | 0,9    | 112        | 12            | 44,5        | 18,6   | 35,1   | 46,3    | 104        | 10,7      |
| 9  | 315/05  | 1              | 73         | 14,8   | 1,02   | 0,9    | 128        | 30            | 70,1        | 4,8    | 30,6   | 64,6    | 76,2       | 23,4      |
| 10 | 316/05  | 1              | 25         | 14,4   | 1      | 0,8    | 104        | 6             | 32,8        | 21     | 39,3   | 39,7    | 116        | 5,7       |
| 11 | 317/05  | 0              | 54         | 14     | 1,2    | 0,92   | 130        | 22            | 54,5        | 4,8    | 18,7   | 76,5    | 71,6       | 16,9      |
| 12 | 318/05  | 0              | 44         | 14,6   | 1,1    | 0,77   | 118        | 5             | 44,6        | 9,4    | 30,2   | 60,4    | 102        | 4,2       |
| 13 | 319/05  | 1              | 39         | 13,6   | 1,02   | 0,98   | 112        | 8             | 36,8        | 14,7   | 30,5   | 54,8    | 98         | 7,1       |
| 14 | 320/05  | 1              | 42         | 14     | 1,04   | 1,01   | 118        | 20            | 51,9        | 6,4    | 34,6   | 59      | 104        | 16,9      |
| 15 | 324/05  | 0              | 32         | 14,2   | 1,1    | 0,9    | 104        | 3             | 32,6        | 23,5   | 38,6   | 37,9    | 128,6      | 2,8       |
| 16 | 334/05  | 0              | 23         | 13,1   | 1,03   | 0,88   | 90         | 2             | 32,2        | 14,6   | 36,8   | 48,6    | 122        | 2,2       |
| 17 | 335/05  | 0              | 48         | 14,4   | 1,11   | 0,86   | 121        | 16            | 47,2        | 5,3    | 28     | 66,7    | 84,6       | 13,2      |
| 18 | 336/05  | 1              | 76         | 15     | 1,1    | 0,92   | 122        | 32            | 70,8        | 3,4    | 23,5   | 73,1    | 37,7       | 26,2      |
| 19 | 337/05  | 1              | 78         | 13,7   | 1,01   | 0,92   | 148        | 38            | 76,6        | 1,4    | 27,6   | 70      | 40,2       | 25,6      |
| 20 | 339/05  | 0              | 44         | 15,2   | 1,03   | 0,98   | 154        | 24            | 41,8        | 12,1   | 32,1   | 55,8    | 112        | 15,6      |
| 21 | 341/05  | 0              | 40         | 14,4   | 1,15   | 0,82   | 97         | 4             | 42,5        | 21     | 29,3   | 49,7    | 120        | 9,2       |

|    |        |   |    |      |      |      |     |    |      |      |      |      |       |      |
|----|--------|---|----|------|------|------|-----|----|------|------|------|------|-------|------|
| 22 | 342/05 | 0 | 62 | 14,6 | 1,02 | 0,9  | 128 | 30 | 68,4 | 6,2  | 26,8 | 67   | 82,7  | 23,4 |
| 23 | 344/05 | 1 | 56 | 13,8 | 1,1  | 0,92 | 146 | 30 | 56,6 | 4,9  | 31,2 | 63,9 | 102   | 20,5 |
| 24 | 345/05 | 0 | 35 | 15,2 | 1,3  | 0,98 | 97  | 4  | 38,1 | 22,8 | 38,8 | 38,4 | 110   | 4,1  |
| 25 | 346/05 | 1 | 48 | 14   | 1,02 | 0,92 | 130 | 25 | 52,9 | 5,2  | 30,5 | 64,3 | 114   | 19,2 |
| 26 | 347/05 | 0 | 49 | 14,2 | 1,1  | 1    | 134 | 18 | 54,5 | 9,8  | 20,8 | 69,4 | 73,8  | 13,4 |
| 27 | 351/05 | 1 | 22 | 13,4 | 1,2  | 0,88 | 98  | 4  | 34,8 | 20,8 | 45,8 | 35,4 | 142   | 4,1  |
| 28 | 354/05 | 0 | 69 | 15,2 | 1,24 | 1,2  | 116 | 23 | 64   | 9,7  | 13,4 | 76,9 | 111   | 19,8 |
| 29 | 355/05 | 0 | 22 | 14,6 | 1,2  | 0,98 | 105 | 5  | 36,2 | 23,8 | 21,3 | 54,9 | 217   | 4,7  |
| 30 | 358/05 | 0 | 58 | 14,6 | 1,4  | 1,01 | 126 | 23 | 61,3 | 5,8  | 24,8 | 69,4 | 102   | 18,2 |
| 31 | 360/05 | 0 | 47 | 14,2 | 1,1  | 0,9  | 109 | 6  | 38,6 | 7,7  | 14   | 78,3 | 71,5  | 5,5  |
| 32 | 361/05 | 0 | 52 | 15,1 | 1,3  | 0,98 | 111 | 8  | 47,2 | 8,5  | 18,3 | 73,2 | 80,2  | 7,2  |
| 33 | 362/05 | 0 | 58 | 14,4 | 1,11 | 0,86 | 135 | 6  | 37,4 | 7    | 15,8 | 77,2 | 113   | 4,4  |
| 34 | 363/05 | 1 | 24 | 15   | 1,1  | 0,92 | 106 | 4  | 36,6 | 23   | 48   | 29   | 126   | 3,7  |
| 35 | 368/05 | 0 | 40 | 15,7 | 1,42 | 1    | 124 | 6  | 39,6 | 18,9 | 31,6 | 49,5 | 104   | 4,8  |
| 36 | 373/05 | 0 | 50 | 15   | 1,64 | 1,06 | 140 | 14 | 56,2 | 7,2  | 26,6 | 66,2 | 84,8  | 10   |
| 37 | 377/05 | 0 | 81 | 15,1 | 1,42 | 1,01 | 142 | 48 | 77,5 | 2,8  | 18,3 | 78,9 | 68,8  | 33,8 |
| 38 | 378/05 | 1 | 61 | 13,2 | 1,4  | 0,9  | 145 | 36 | 78,2 | 2,6  | 27,5 | 69,9 | 94,75 | 24,8 |
| 39 | 018/06 | 0 | 76 | 14,2 | 1,4  | 1,05 | 108 | 33 | 64,7 | 3,4  | 18,2 | 78,4 | 48,3  | 30,5 |
| 40 | 020/06 | 0 | 70 | 15   | 1,26 | 1,2  | 142 | 35 | 68,2 | 2,6  | 20,1 | 77,3 | 92,2  | 24,6 |
| 41 | 021/06 | 1 | 91 | 14,6 | 1,1  | 0,9  | 114 | 30 | 71,1 | 1,3  | 18,8 | 79,9 | 23,6  | 26,3 |
| 42 | 022/06 | 0 | 22 | 14   | 1,03 | 0,89 | 98  | 2  | 28,8 | 29,6 | 37,2 | 33,2 | 160   | 2    |
| 43 | 023/06 | 0 | 23 | 13,9 | 1,02 | 0,91 | 88  | 2  | 34,4 | 26,8 | 40,3 | 32,9 | 140,6 | 2,2  |
| 44 | 073/06 | 1 | 59 | 13,5 | 1,15 | 0,8  | 152 | 22 | 55,2 | 7,2  | 32,1 | 60,7 | 102   | 14,4 |
| 45 | 080/06 | 1 | 53 | 13,7 | 1,1  | 0,9  | 110 | 28 | 66   | 12,6 | 25,8 | 61,6 | 120   | 25,4 |
| 46 | 081/06 | 1 | 64 | 13,3 | 1,06 | 0,85 | 124 | 38 | 73,1 | 2,8  | 29,1 | 68,1 | 59,8  | 30,6 |
| 47 | 083/06 | 1 | 73 | 13,8 | 1,12 | 0,91 | 112 | 36 | 76,3 | 2,3  | 26,4 | 71,3 | 52,2  | 32,1 |
| 48 | 086/06 | 1 | 25 | 12,4 | 1,2  | 0,8  | 98  | 4  | 33,6 | 22,8 | 33,6 | 43,6 | 102   | 4,1  |

|    |        |   |    |      |      |      |     |    |      |      |      |      |       |      |
|----|--------|---|----|------|------|------|-----|----|------|------|------|------|-------|------|
| 49 | 180/06 | 0 | 29 | 14   | 1,1  | 0,9  | 102 | 4  | 33,3 | 26,2 | 29   | 44,8 | 162   | 3,9  |
| 50 | 182/06 | 0 | 29 | 14,3 | 1,25 | 0,9  | 78  | 2  | 32,2 | 28,3 | 26,2 | 45,5 | 146,2 | 2,5  |
| 51 | 183/06 | 1 | 38 | 13,6 | 1,12 | 0,88 | 122 | 20 | 42,8 | 12,8 | 34,8 | 52,4 | 136   | 16,3 |
| 52 | 184/06 | 0 | 28 | 14,5 | 1,2  | 0,92 | 96  | 4  | 35,4 | 20,1 | 42,8 | 37,1 | 158   | 4,1  |
| 53 | 230/06 | 0 | 41 | 15,2 | 1,38 | 0,9  | 138 | 8  | 46,6 | 20,8 | 34,7 | 45,5 | 98    | 5,7  |
| 54 | 270/06 | 1 | 61 | 13,5 | 1,2  | 0,97 | 132 | 24 | 66,2 | 3,6  | 30,4 | 66   | 75,5  | 17,9 |
| 55 | 315/06 | 1 | 22 | 14,4 | 1,02 | 0,88 | 90  | 3  | 32,2 | 25,5 | 42,7 | 31,8 | 118   | 3,3  |
| 56 | 317/06 | 0 | 29 | 14,4 | 1,28 | 0,92 | 90  | 3  | 35,4 | 25,9 | 32,8 | 41,3 | 151   | 3,3  |
| 57 | 332/06 | 1 | 22 | 13,8 | 1,3  | 0,88 | 98  | 3  | 34   | 26   | 38,9 | 35,1 | 110   | 3    |
| 58 | 120/07 | 0 | 30 | 14,9 | 1,45 | 0,92 | 84  | 4  | 36,8 | 25   | 26   | 49   | 160   | 4,7  |
| 59 | 143/07 | 0 | 56 | 14,5 | 1,4  | 0,9  | 138 | 32 | 69,4 | 3,2  | 20,6 | 76,2 | 64,8  | 23,2 |
| 60 | 147/07 | 1 | 53 | 13   | 1,4  | 0,97 | 112 | 24 | 49,5 | 3,6  | 30,4 | 66   | 75,5  | 21,4 |
| 61 | 148/07 | 0 | 54 | 14,4 | 1,42 | 0,9  | 152 | 12 | 61,3 | 4,3  | 22,8 | 72,9 | 82,2  | 7,8  |
| 62 | 149/07 | 0 | 69 | 17   | 1,45 | 0,96 | 156 | 28 | 63,7 | 3,8  | 22,9 | 73,3 | 102   | 17,9 |
| 63 | 150/07 | 1 | 86 | 16,3 | 1,54 | 0,84 | 94  | 38 | 68,4 | 3    | 26,1 | 70,9 | 54,2  | 40,8 |
| 64 | 154/07 | 0 | 35 | 15,4 | 1,33 | 1,1  | 94  | 6  | 37,7 | 25,8 | 14,9 | 59,3 | 132,3 | 6,3  |

**Legenda:**

- Nr S.Z. - numer sekcji zwłok
- płeć - 0 - mężczyzna, 1 - kobieta
- DO - długość obojczyka,
- SO - szerokość obojczyka,
- GO - grubość obojczyka,
- IOs - liczba osteonów,
- KH >70 $\mu$ m - liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70 $\mu$ m,
- $\bar{s}$ r  $\bar{\varnothing}$  KH - średnia średnica kanałów Haversa,  $\mu$ m,
- PBM - powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe, (%)
- POs - powierzchnia zajmowana przez osteony, (%)
- PFOs - powierzchnia zajmowana przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach, (%)
- $\bar{s}$ r GBZ - średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych,  $\mu$ m,
- KH >70 $\mu$ m, % - stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70 $\mu$ m do ogólnej ilości osteonów (%).

Badaniom poddano również 15 preparatów histologicznych wykonanych z trzonów 5 obojczyków pochodzących ze zwłok osób obojga płci w wieku od 23 do 78 lat. Z każdego z pięciu obojczyków zabezpieczono po trzy fragmenty z okolicy trzonu, które zostały odwapnione trzema różnymi metodami.

Analizie z wykorzystaniem spektrofotometrii w podczerwieni poddano 20 próbek, które zostały przygotowane z fragmentów trzonu obojczyka osób obojga płci w wieku od 2 lat do 95 lat. Dla celów porównawczych, przeanalizowano próbki pochodzące z fragmentów kości kury, krowy i świni.

## 5. Metody

### 5.1 Pobranie materiału badawczego

Podczas pobierania obojczyków ze zwłok uwzględniono fakt, że większość osób populacji naszego społeczeństwa jest praworęczna, co znaczy, że lewa kończyzna górna i obręcz barkowa posiada mniej zmian spowodowanych przeciążeniami fizycznymi.

Pobierane kości były utrwalone w 10% roztworze formaliny na czas co najmniej 72 godzin, po czym były poddane maceracji w 10% roztworze kwaśnego węgla sodu ( $\text{NaHCO}_3$ ) i oczyszczone z tkanek miękkich. Po wysuszeniu każda wymacerowna kość została dokładnie zmierzona z uwzględnieniem następujących parametrów pomiarowych (cm):

- długość obojczyka - stanowiąca odległość pomiędzy najdalej od siebie położonymi punktami na końcach mostkowym i łopatkowym,
- szerokość obojczyka - odległość między przednią a tylną powierzchnią obojczyka mierzona w połowie jego długości,
- grubość obojczyka - wymiar pomiędzy górną i dolną powierzchnią obojczyka mierzony w połowie jego długości.

### 5.2 Przygotowanie szlifów kostnych.

Po oczyszczeniu kości z tkanek miękkich za pomocą piły sekcyjnej pobierano poprzeczny wycinek w kształcie pierścienia o grubości około 5mm. Pobrany wycinek odtłuszczano w 70% roztworze alkoholu etylowego ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ). Jeden z pobranych wycinków został poddany działaniu wysokiej temperatury w otwartym ogniu.

Po wypłukaniu i wysuszeniu każdy z pobranych fragmentów był zatapiany i przyklejany szkłem wodnym - roztworem wodnym krzemianu sodu ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) - do szklanego podłoża o wymiarach 10 x 6 x 0,6 cm . Wykorzystanie szkła wodnego pozwalało na bardzo mocne przymocowanie kości do szklanego podłoża podczas szlifowania. Po 1 dobie od przyklejona materiał szlifowano ręcznie do uzyskania grubości preparatu 80-110 $\mu\text{m}$ . Do szlifowania wykorzystywano papier ścierny o grubości ziaren od numeru 80 do 320. Podczas



szlifowania fragmentu kości jego grubość była okresowo mierzona za pomocą suwmiarki. Możliwość rozpuszczenia szkła wodnego w wodzie, wykorzystywanego dla zatapiania fragmentu kości, nie pozwala na szlifowanie kości pod wodą z wykorzystaniem wodoodpornego papieru ściernego, który ma nieco mniejszą ziarnistość. Możliwość bardzo łatwego usunięcia szkła wodnego po ukończeniu procedury szlifowania jest decydująca podczas wyboru surowca dla zatapiania i przyklejania.

Po uzyskaniu odpowiedniej grubości 80-110 $\mu$ m preparat odklejono za pomocą wody od szklanego podłoża, ponownie odtłuszczono w 70% roztworze alkoholu etylowego (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), a następnie prześwietlono stosując ksylen 70%, 90% i 100%. W dalszej kolejności materiał był przyklejany do szkiełka podstawowego za pomocą balsamu kanadyjskiego (ekstrakt z żywicy jodły balsamicznej), charakteryzującym się współczynnikiem załamania światła identycznym lub bardzo zbliżonym do wielu gatunków szkła optycznego. Ostatecznie, po nałożeniu szkiełka nakrywkowego, preparat był gotowy do badań. Procedura przygotowania preparatu szlifowanego zajmuje około 7-8 dni.

### **5.3 Przygotowanie odwapnionych preparatów tkanki kostnej.**

Z obojczyków pochodzących od osób w wieku 23, 42, 56, 66 oraz 78 lat, za pomocą piły sekcyjnej zostały pobrane po trzy poprzeczne wycinki o grubości około 5mm. Pobrane wycinki utrwalono w 10% roztworze formaliny, a następnie po wypłukaniu wodą przeprowadzono przez wzrastający i malejący szereg alkoholi (wodne roztwory 70% - 96% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH).

Po jednym fragmencie z każdego obojczyka umieszczono w uprzednio przygotowanych roztworach odwapniających: wodny roztwór wersenianu sodu 10% (C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>Na<sub>2</sub>\*2H<sub>2</sub>O), roztwór 10% wersenianu sodu w formalinie 10%, oraz roztwór równych części stężonego kwasu mrówkowego i alkoholu 70%. Po zakończeniu odwapniania resztki roztworów odwapniających usunięto intensywnym płukaniem wodą, a następnie odwodniono preparaty przeprowadzając je przez szereg alkoholi (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, 70% - 80% - 96%) i je

prześwietlono w ksylenie. Po prześwietleniu preparaty zatopiono w parafinie, skrojono mikrotomem do grubości 10 $\mu$ m, ponownie przeprowadzono przez malejący i wzrastający szeregi alkoholi i ksylenu oraz zabarwiono hematoksyliną i eozyną. Proces przygotowania preparatów odwapnionych kości wymagał przedziału czasowego od 35 do 50 dni.

#### **5.4. Badanie mikromorfometryczne.**

W badaniu wykorzystano mikroskop Carl Zeiss Axiovert SAF 451210. Analizę przeprowadzono w świetle przechodzącym i spolaryzowanym przy powiększeniu x20, x50, x100. Wykonano zdjęcia kamerą Pixelink Megapixel Firewire przy użyciu oprogramowania Pixelink Cuptura. Parametry wykonanych zdjęć: rozszerzenie - bitmap image, rozdzielczość - 1280x1024 pikseli, ekspozycja i balans bieli - ustawiane automatycznie. Dla badań morfometrycznych wykorzystano zdjęcia preparatów o powiększeniu x50, wymiarach 3019 $\mu$ m x 2415 $\mu$ m, powierzchnia pola widzenia 7,29mm<sup>2</sup>. Zdjęcia wykonane w powiększeniu x20 oraz x100 były wykorzystane jako pomocnicze dla weryfikacji niektórych z określanych elementów kości.

Dla badania mikromorfometrycznego wybrano cztery pola widzenia preparatu o powiększeniu x50, wymiarach 3019 $\mu$ m x 2415 $\mu$ m, powierzchni pola widzenia 7,29mm<sup>2</sup>. Zbadane pola widzenia rozmieszczone na przeciwległych biegunach poprzecznego przekroju kości: przedni, tylny, górny i dolny; tuż przy brzegu zewnętrznym kości obejmujące warstwy blaszek zewnętrznych kości oraz warstwę osteonową kości zbitej. Badanie morfometryczne przeprowadzone przy zastosowaniu programów komputerowych ImageJ 1.39u i PhotoM 1.31.

W badaniu mikromorfometrycznym zostały uwzględnione następujące parametry pomiarowe obliczane na powierzchni czterech pól widzenia o łącznej powierzchni 29,16 mm<sup>2</sup>:

- liczba osteonów,
- liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70 $\mu$ m,
- średnia średnica kanałów Haversa ( $\mu$ m),
- średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych ( $\mu$ m),

- powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe (%),
- powierzchnia zajmowana przez osteony (%),
- powierzchnia zajmowana przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach (%).

### 5.5 Analiza statystyczna.

Statystyczną ocenę uzyskanych wyników badań przeprowadzono w ramach współpracy z Katedrą i Zakładem Informatyki i Statystyki Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu. Badaniom statystycznym, poza wyżej wymienionymi parametrami mikroromfometrycznymi, również został poddany stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$  do ogólnej liczby osteonów (%).

Na podstawie wykresów wieku z każdym z analizowanych parametrów zdecydowano o wyborze zależności liniowej. Każdy z uzyskanych parametrów przeanalizowano pod względem istotności statystycznej, po czym zostały wybrane jedynie te z nich, które były statystycznie istotne i poddane analizie zmienności zachodzącej z wiekiem przy użyciu funkcji regresji liniowej jednowymiarowej oraz wielokrotnej.

**Funkcja regresji liniowej:**  $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$

**Funkcja regresji wielokrotnej:**  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \varepsilon$

gdzie:

**Y** - wartość poszukiwana – wiek, (lata)

**X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ..., X<sub>i</sub>** – predyktory,

**X<sub>1</sub> - IOs** - liczba osteonów,

**X<sub>2</sub> - KH  $>70\mu\text{m}$**  - liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$ ,

**X<sub>3</sub> - śr Ø KH** - średnia średnica kanałów Haversa,  $\mu\text{m}$ ,

**X<sub>4</sub> - PBM** - powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe (%),

**X<sub>5</sub> - POs** - powierzchnia zajmowana przez osteony (%),

**X<sub>6</sub> - PFOs** - powierzchnia zajmowana przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach (%),

**X<sub>7</sub> - śr GBZ** - średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych,  $\mu\text{m}$ ,

$X_8$  - **KH >70 $\mu$ m, %** - stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70 $\mu$ m do ogólnej ilości osteonów (%).

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_8$  - parametry liniowej funkcji regresji oszacowane na podstawie 64-elementowej próby, składającej się z par obserwacji  $(x_i, y_i)$ ;

$i$  - ilość badanych cech wykazujących istotność statystyczną;

$\varepsilon$  - błąd standardowy estymacji;

$R^2$  – współczynnik determinacji – mówi on o procencie wyjaśnionej zmienności wieku przez daną cechę w próbie;

$R^2$  skorygowane – korekcja współczynnika determinacji na całą populację.

W modelu regresji wielokrotnej wykonano obliczenie równania liniowego trzema metodami:

- metodą standardową tj. uwzględniającą wszystkie predyktory
- metodę krokową postępującą, która dołącza do modelu te predyktory mające największy wpływ na wiek, ale są najsłabiej skorelowane między sobą
- metodę krokową wsteczną, która usuwa z modelu zbudowanego ze wszystkich predyktorów w kolejnych krokach, które mają najmniejszy wpływ na wiek.

Wszystkie zweryfikowane modele regresji liniowej jednowymiarowej oraz wielokrotnej zostały przeanalizowane pod kątem wykorzystania ich do predykcji zmiennej zależnej, a mianowicie wieku. Po weryfikacji i estymacji modeli regresji liniowej jednowymiarowej i wielokrotnej dla każdego z nich zostały uzyskane i przeanalizowane wartości resztowe względem wartości przewidywanych, a w arkuszu wyników zostały ujęte:

- wartości obserwowanej zmiennej niezależnej,
- wartości przewidywane wyliczone z równania regresji,
- wartości reszt, czyli różnica pomiędzy wartościami obserwowanymi a przewidywanymi,
- standaryzowane wartości przewidywane,
- standaryzowane wartości resztowe,
- błędy standardowe niestandaryzowanej wartości przewidywanej,

- odległości Mahalanobisa, która jest odległością danego punktu pomiarowego (danej obserwacji) od centrum w przestrzeni wielowymiarowej zdefiniowanej przez skorelowane zmienne niezależne. Pomiar ten może stanowić wskaźnik pozwalający ustalić czy dana obserwacja może być zaliczona do odstających,
- usunięte wartości resztowe,
- odległość Cooka, która jest miarą wpływu danego przypadku na równanie regresji. Wykazuje ona różnicę między wyznaczonymi wartościami parametrów współczynników równania, a wartościami obliczonymi przy wyłączeniu danego przypadku z obliczeń. Wszystkie odległości powinny być tego samego rzędu. Jeśli nie są, to można przypuszczać, że dany przypadek (przypadki) miał istotny wpływ na obciążenie współczynników równania regresji.

Dla każdej z obliczonych zależności statystycznych zostały obliczone wartości minimalna, maksymalna, średnia i mediana.

### **5.6 Analiza porównawcza szlifów tkanki kostnej o różnym miejscu pobrania materiału badawczego.**

Analizę porównawczą szlifów uzyskanych z trzonu obojczyka oraz szlifów wykonanych z wycinków pobranych z pogranicza trzonu i końców obojczyka przeprowadzono w świetle przechodzącym mikroskopu oraz w świetle spolaryzowanym przy powiększeniu x50 i x100. Do badania wykorzystano pola widzenia rozmieszczone na przeciwległych biegunach poprzecznego przekroju kości: przedni, tylny, górny i dolny. Podczas badania w polu widzenia zwrócono uwagę na takie elementy mikrostruktury kości, jak:

- liczbę osteonów,
- powierzchnię zajętą osteonami,
- powierzchnię zajętą fragmentami przebudowanych osteonów,
- powierzchnię zajętą blaszkami kostnymi międzysystemowymi.

### **5.7 Analiza porównawcza szlifów kości człowieka, zwierząt oraz spalonej kości człowieka.**

Badania porównawcze zastosowano również w przypadku oceny preparatów wykonanych z trzonu obojczyka człowieka z preparatami kości udowych krowy i świni, oraz z preparatami kości człowieka po poddaniu jej działaniu wysokiej temperatury - spalenie do szarego spoielenia. Analizę przeprowadzono w świetle przechodzącym mikroskopu oraz w świetle spolaryzowanym przy powiększeniu x50 i x100. W badaniu uwzględniono takie cechy jak:

- obecność tkanki kostnej grubowłóknistej w polu widzenia,
- obecność oraz stosunek wielokrotnie przebudowanych osteonów wtórnych do nieprzebudowanych osteonów wtórnych,
- przebieg kanałów osteonów w stosunku do długiej osi kości,
- obecność kanałów Folkmana oraz ich usytuowanie,
- obecność blaszek międzysystemowych.

### **5.8 Analiza chemiczna składu badanych kości.**

Badania wykonano metodą spektrofotometrii w podczerwieni IR Furiera w zakresie liczby falowej  $V = 400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$  (zakres długości fali  $\lambda = 25 - 2,5\mu\text{m}$ ), podstawą których była ocena porównawcza uzyskanych widm. Analizę jakościową wykonano w fazie stałej, którą stanowiła tabletką zawierająca stały stosunek struktury mineralnej kości i bromku potasu (1.8 mg / 200 mg). Widmo wykreślono automatycznie na spektrofotometrze IR Brucker IFS 113 (Ettinger, Niemcy).

Przygotowanie materiału do badań metodą spektrofotometrii w podczerwieni IR Furiera uwzględniało:

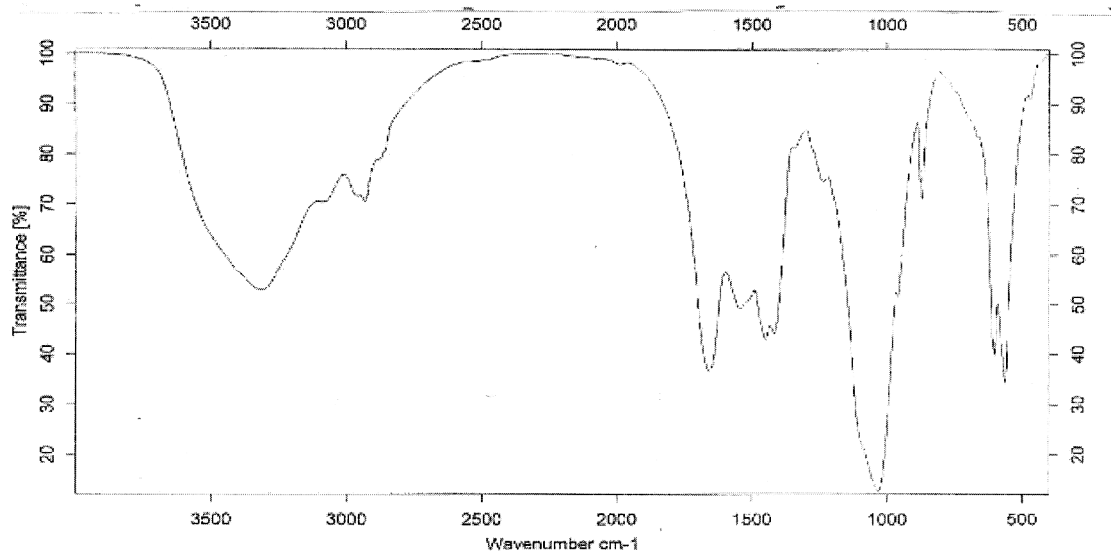
- zabezpieczenia kości podczas sekcji zwłok. Dodatkowo analizie IR poddano próbki kości udowych kury, świni i krowy;
- mechaniczne oczyszczenie kości od tkanek miękkich;
- rozcięcie kości w połowie trzonu, zabezpieczenie fragmentu o grubości 5mm;

- przemycie wodą (do negatywnej reakcji z odczynnikiem Schiff 'a - na obecność formaldehydu);
- suszenie 24 godziny w temperaturze pokojowej;
- ścieranie mechaniczne części zbitej trzonu obojczyka z użyciem pulweryzatora do otrzymania struktury proszku;
- masa kości (0.2 g ) została poddana suszeniu w temperaturze 150° C ( 24 godziny do stałej masy - usunięcie wody niekrystalicznej);
- tabletkę do badań spektrofotometrycznych (1.8 mg + 200 mg KBr ) przygotowano po uprzedniej integracji mechanicznej w młynku udarowym i prasowaniu (tabletkowanie ) w odpowiedniej matrycy Ø 8 mm i przy ciśnieniu 100 atmosfer.

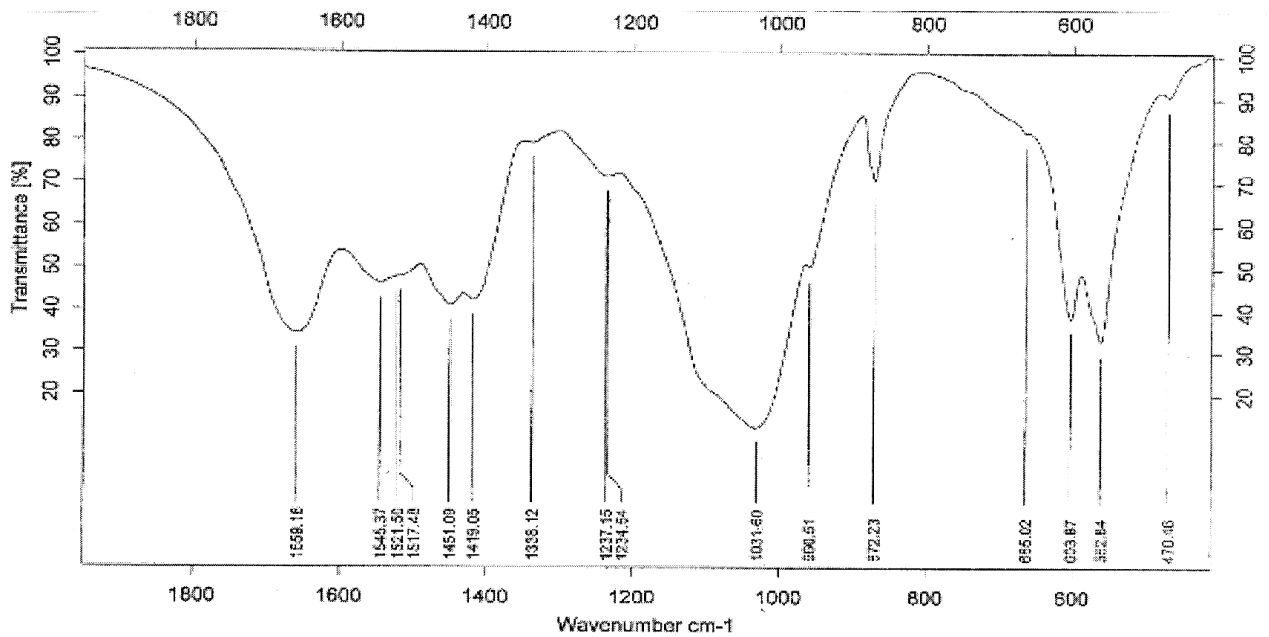
Podczas badań dokonano analizy najbardziej intensywnych pasm absorpcji widma apatytu hydroksylowego oraz charakterystycznych obszarów absorpcyjnych dla struktur organicznych typowych dla układu struktury białkowej, głównie wiązania peptydowego (-CO-NH-).

Układem odniesienia było typowe widmo naturalnej struktury hydroksyapatytu osadzonego w strukturze żelu białkowego, którego zapis przedstawia rys. 2 (zakres 400 - 4000  $\text{cm}^{-1}$ ) a jego rozszerzoną wersję ze wskazaniem liczbowych wartości liczb falowych przedstawiono na rys. 3 (zakres 600-1800  $\text{cm}^{-1}$ ) i rys. 4 (zakres 2000-4000  $\text{cm}^{-1}$ ).

Ryc. 2. Widmo naturalnej struktury hydroxyapatytu w podczerwieni w zakresie 400-4000  $\text{cm}^{-1}$

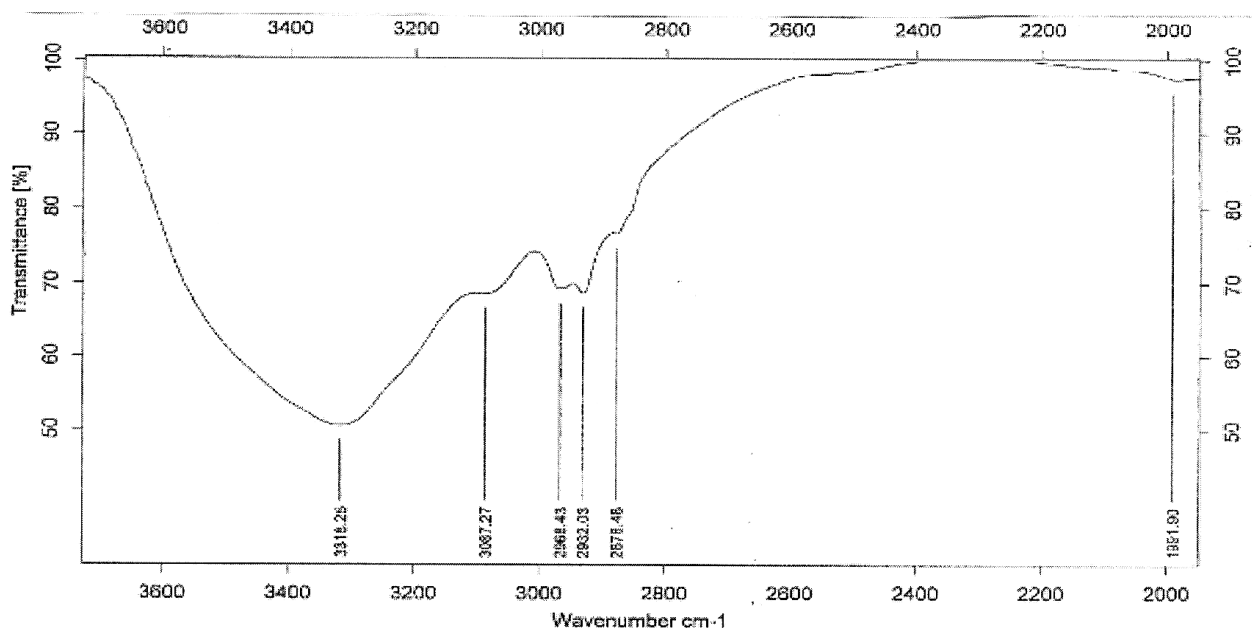


Ryc. 3. Widmo naturalnej struktury hydroxyapatytu w podczerwieni, wersja rozszerzona, zakres 400-2000  $\text{cm}^{-1}$





**Ryc. 4.** Widmo naturalnej struktury hydroksyapatytu w podczerwieni wersja rozszerzona, zakres 2000-4000 $\text{cm}^{-1}$



Z piśmiennictwa wynika, że dla poszczególnych pasm absorpcji, typowych dla hydroksyapatytu i struktury białkowej kości, można przypisać następujące zakresy liczb falowych ( $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ ), co przedstawia Tabela 3.

**Tab. 3.** Charakterystyczne pasma absorpcji w podczerwieni typowe dla hydroksyapatytu w żelowej strukturze białkowej kości.

| Charakterystyczne pasma absorpcji | Zakres absorpcji pików ( $\nu$ $\text{cm}^{-1}$ ) |
|-----------------------------------|---|
| $\text{PO}_4^{-3}$                | 562 - 564   |
| $\text{PO}_4^{-3}$                | 603 - 604   |
| $\text{PO}_4^{-3}$                | 960   |
| $\text{PO}_4^{-3}$                | 1031 - 1035 (bardzo intensywny)                   |
| $\text{CO}_3^{-2}$                | 872   |
| $\text{CO}_3^{-2}$                | 1415-1450   |
| Amid II                           | 1650-1670   |
| $\text{OH}^-$                     | 3318 (bardzo intensywny)                          |

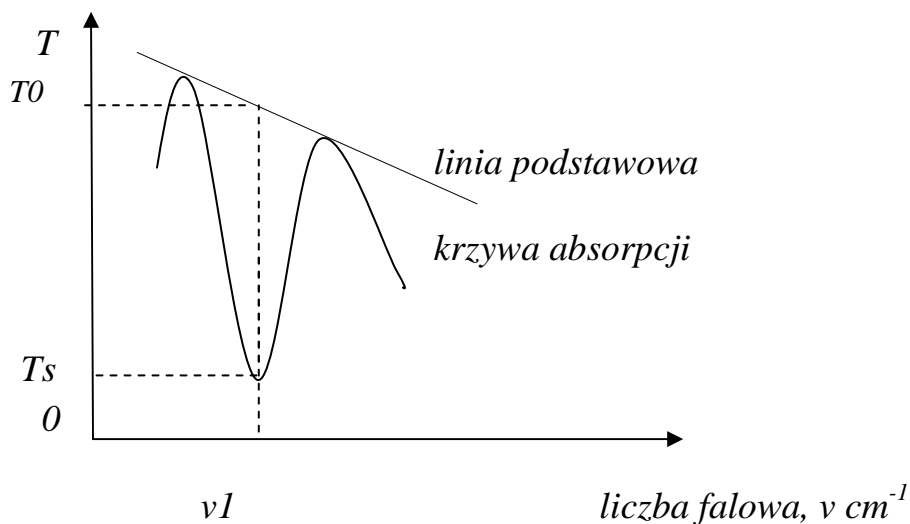
Źródło: A. Antunes, W. de Rossi, D.M. Zzell -"Spectroscopic alterations on enamel and dentin after nanosecond Nd: YAG laser irradiation", table str. 1144

W realizowanym programie badań różnicujących strukturę mineralną kości w odniesieniu do płci, wieku, czasu zgonu oraz przynależności gatunkowej, ocena porównawcza dotyczyła powyżej ustalonych zakresów pasm

absorpcyjnych typowych dla jonu fosforanowego ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), węglanowego ( $\text{CO}_3^{-2}$ ), hydroksylowego ( $\text{OH}^-$ ), oraz amidowego ugrupowania polipeptydowego.

W ocenie zmian składu mineralnego kości metodą IR, badano intensywność wybranych pasm analitycznych odpowiadających specyficznym grupom funkcyjnym hydroksyapatytu z udziałem jonu fosforanowego i węglowego (zakres jonu  $\text{PO}_4^{-3}$   $1000\text{-}1200\text{cm}^{-1}$ ,  $560\text{-}605\text{cm}^{-1}$ , jonu  $\text{CO}_3^{-2}$   $860\text{-}880\text{cm}^{-1}$ ,  $1410\text{-}1450\text{cm}^{-1}$ ) oraz peptydowego ugrupowania amidowego ( $-\text{CO-NH}-$  zakres  $1650\text{-}1670\text{cm}^{-1}$ ). Po dokonanych wyborze pasma analitycznego wartość absorpcji przy określonej długości fali odpowiadającej liczbie falowej ( $\text{cm}^{-1}$ ) określono metodą linii podstawowej. Podstawą obliczenia były dane liczbowe graficznego postępowania metodą linii podstawowej wybranego pasma analitycznego zgodnie z ryciną 5.

**Ryc. 5.** Graficzne przedstawienie obliczeń parametrów absorpcji metodą linii podstawowej.



Wartość absorpcji pasma odpowiedniego jonu jest odwrotnie proporcjonalna do przepuszczalności - transmisja ( $T$ ), zgodnie z zależnością minimum przepuszczalności odpowiada maksimum absorpcji przy danej wartości  $\lambda$ ,  $\mu\text{m}$  czy  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ . Absorpcja substancji badanej określana intensywnością pobudzenia

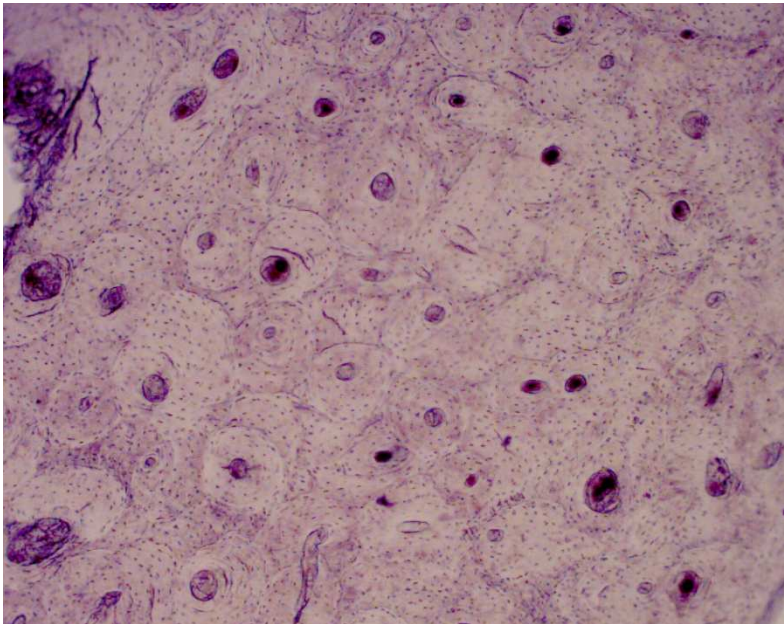
jonów tworzących cząsteczkę ustalono zgodnie z wzorem:  $A = \log 100/T_S - \log 100/T_0 = \log T_0/T_S$

Ustalanie wartości absorpcji w zakresie charakterystycznych wybranych jonów, były podstawą oceny zmiany mineralnego składu obojczyka, które podano w odpowiednich tabelach zbiorczych.

## **6. WYNIKI**

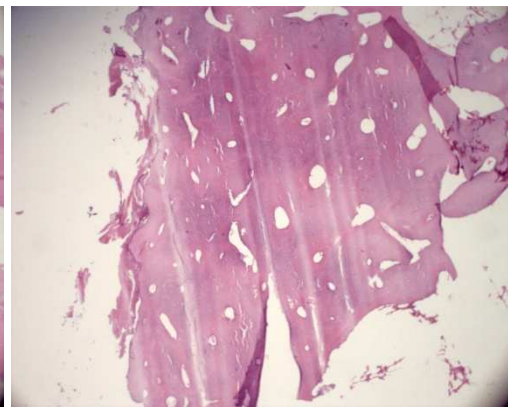
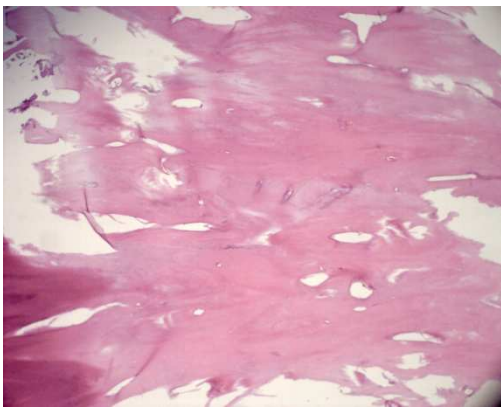
### **6.1. Porównanie metod przygotowania preparatów histologicznych tkanki kostnej**

Preparaty histologiczne zostały przygotowane z trzonów obojczyków pochodzących od osób w wieku 23, 42, 56, 66 oraz 78 lat. Z każdego obojczyka został wykonany szlif kostny oraz trzy preparaty z kości odwapnionych różnymi metodami: roztwór równych części stężonego kwasu mrówkowego i alkoholu 70%, wodny roztwór wersenianu sodu 10% oraz roztwór 10% wersenianu sodu w formalinie 10%. Po zakończeniu odwapniania preparaty zabarwiono hematoksyliną i eozyną. Uzyskane wyniki przedstawiono na kolejnych zdjęciach (Fot. 1-5, A-D).

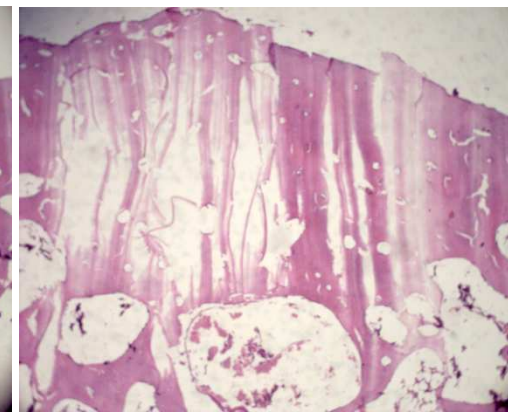


**Fot. 1.** Preparat histologiczny obojczyka kobiety w wieku 66 lat, przygotowany czterema różnymi metodami:

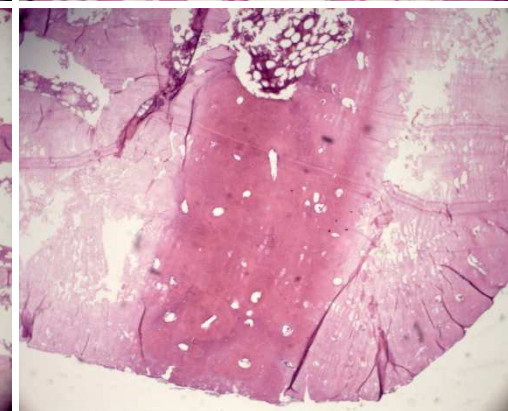
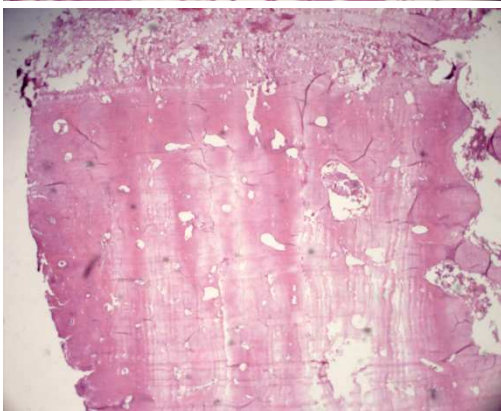
- A) szlif obojczyka;
- B) odwapnianie roztworem kwasu mrówkowego i alkoholu
- C) odwapnianie roztworem wersenianu sodu 10% w formalinie 10%;
- D) odwapnianie wodnym roztworem wersenianu sodu 10%.



B

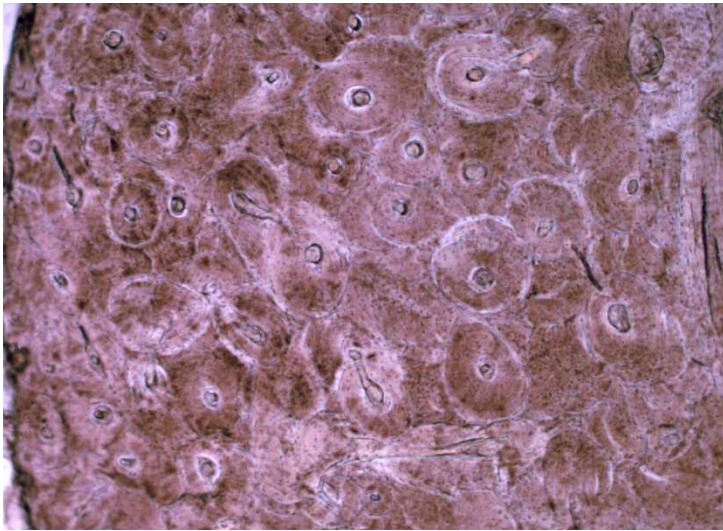


C



D

**Fot. 2.** Preparat histologiczny obojczyka kobiety w wieku 42 lat przygotowany czterema różnymi metodami:



A

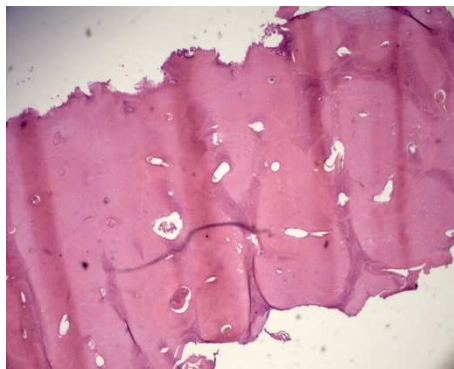
- A) szlif obojczyka;
- B) odwapnianie roztworem kwasu mrówkowego i alkoholu
- C) odwapnianie roztworem wersenianu sodu 10% w formalinie 10%;
- D) odwapnianie wodnym roztworem wersenianu sodu 10%.



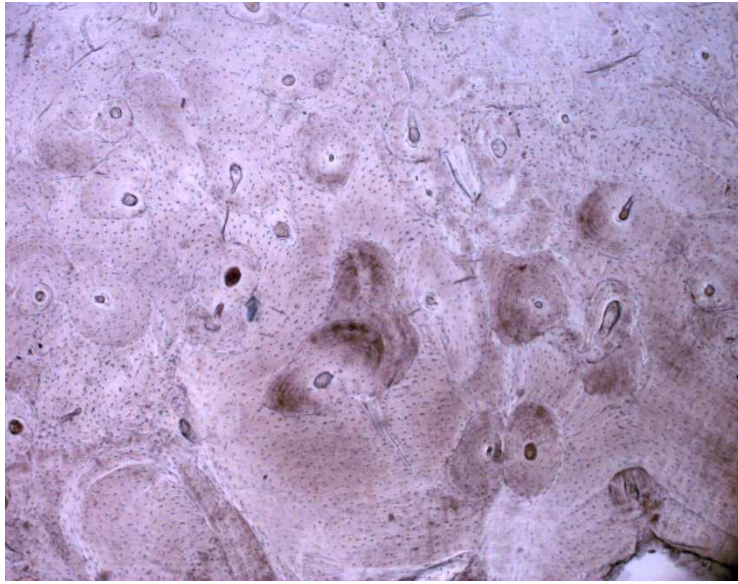
B



C

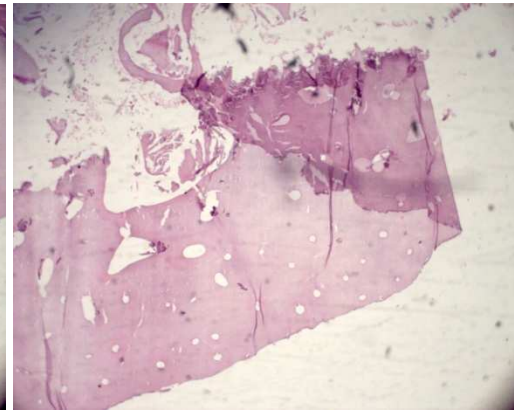
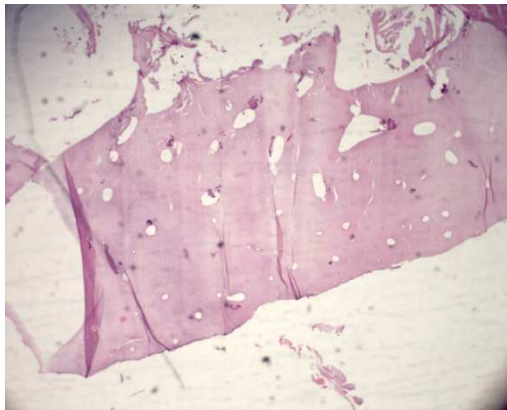


D

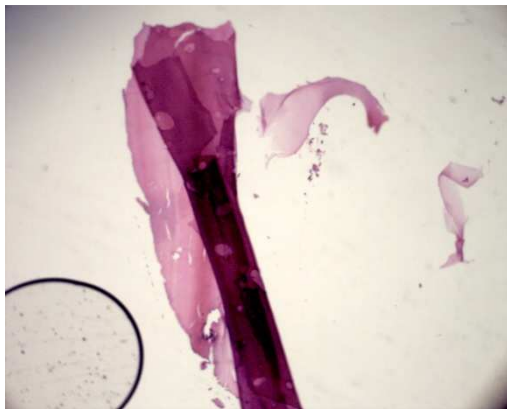


**Fot. 3.** Preparat histologiczny obojczyka mężczyzny w wieku 23 lata, przygotowany czterema różnymi metodami:

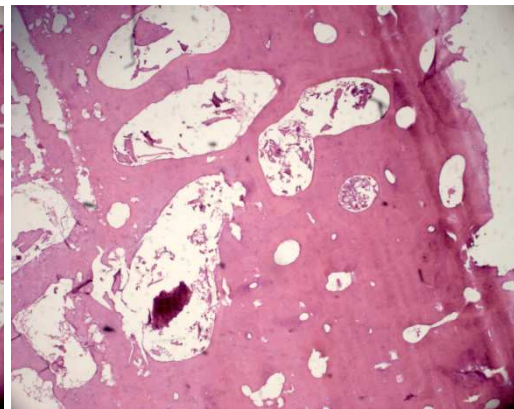
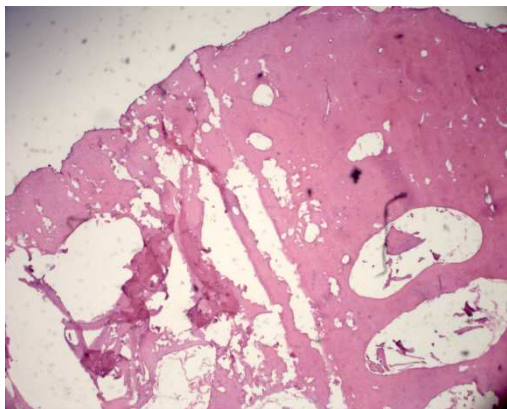
- A) szlif obojczyka;
- B) odwapnianie roztworem kwasu mrówkowego i alkoholu
- C) odwapnianie roztworem wersenianu sodu 10% w formalinie 10%;
- D) odwapnianie wodnym roztworem wersenianu sodu 10%.



B



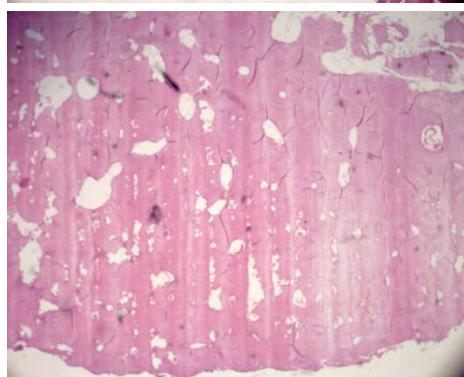
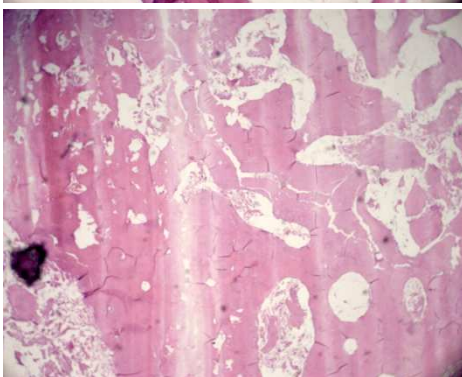
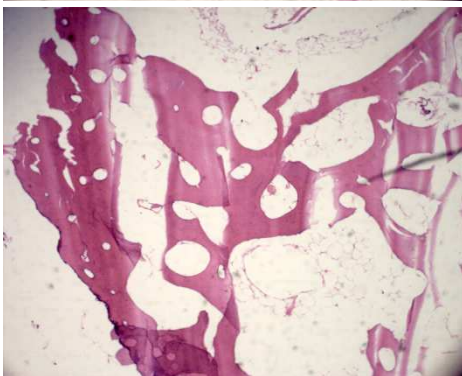
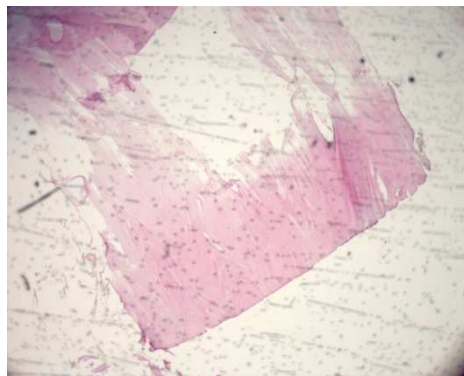
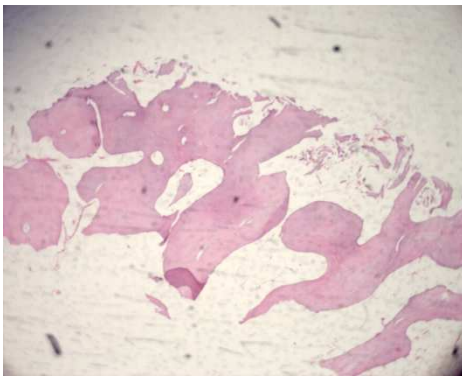
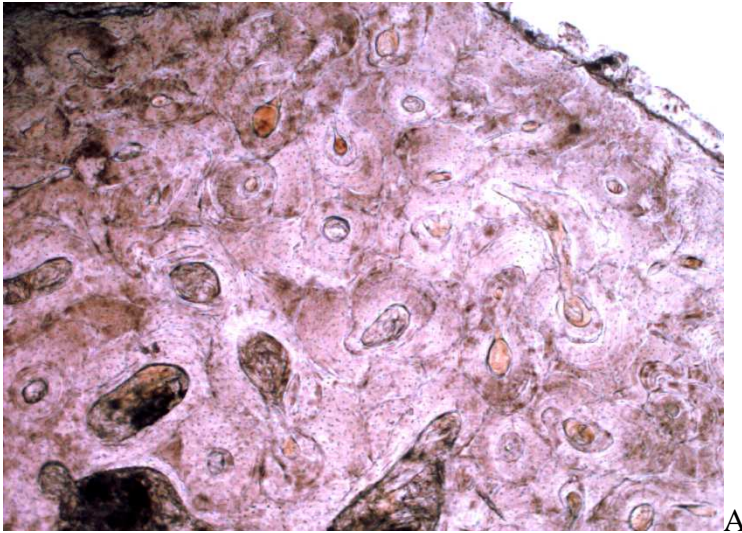
C



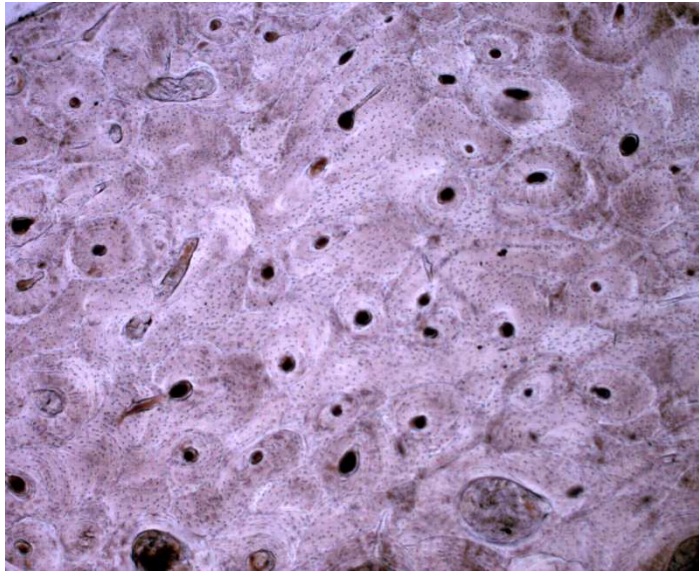
D

**Fot. 4.** Preparat histologiczny obojczyka kobiety w wieku 78 lat, przygotowany czterema różnymi metodami:

- A) szlif obojczyka;
- B) odwapnianie roztworem kwasu mrówkowego i alkoholu
- C) odwapnianie roztworem wersenianu sodu 10% w formalinie 10%;
- D) odwapnianie wodnym roztworem wersenianu sodu 10%.

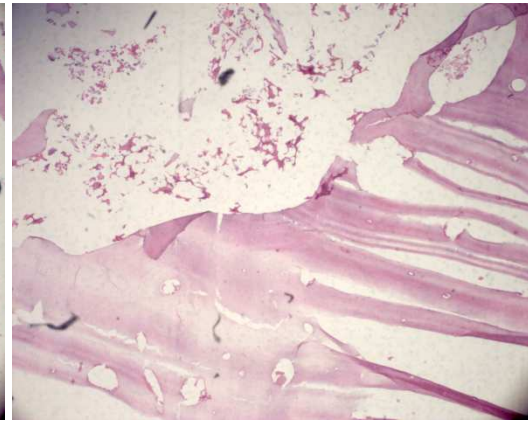
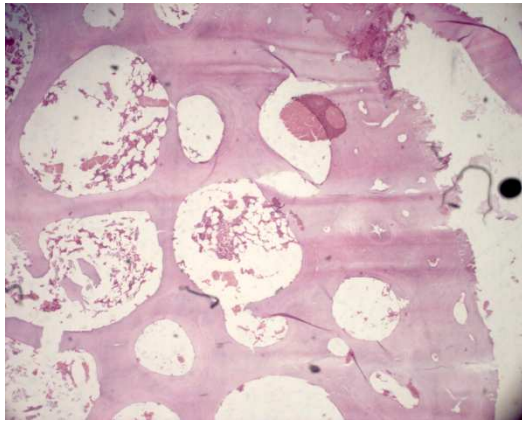




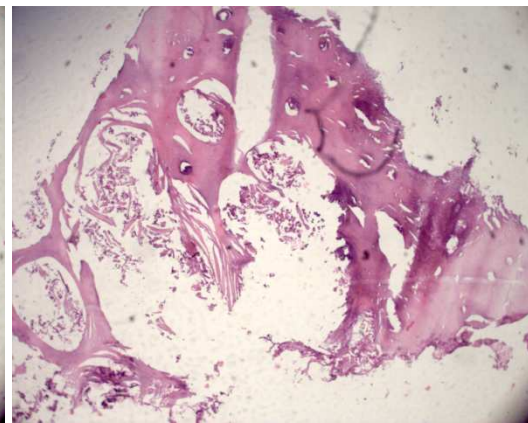
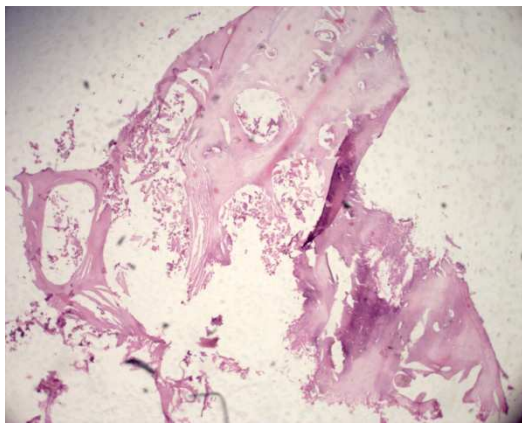


**Fot. 5.** Preparat histologiczny obojczyka kobiety w wieku 56 lat, przygotowany czterema różnymi metodami:

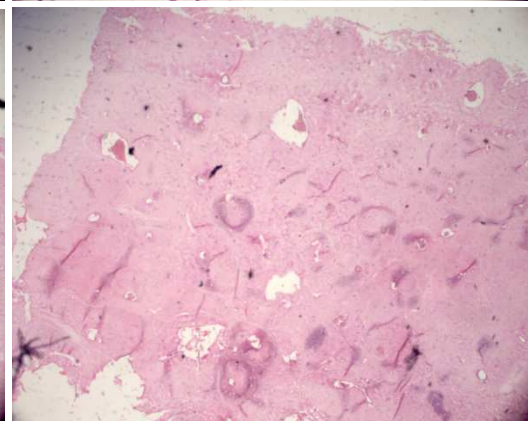
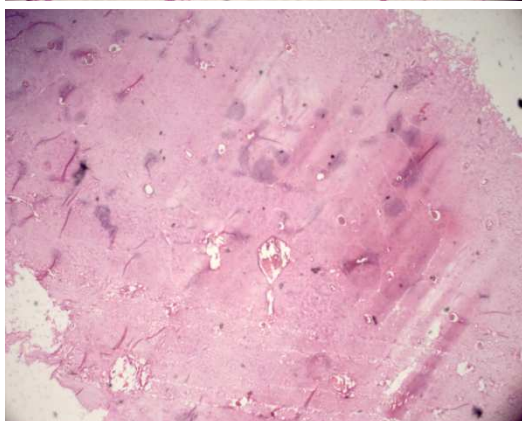
- A) szlif obojczyka;
- B) odwapnianie roztworem kwasu mrówkowego i alkoholu
- C) odwapnianie roztworem wersenianu sodu 10% w formalinie 10%;
- D) odwapnianie wodnym roztworem wersenianu sodu 10%.



B



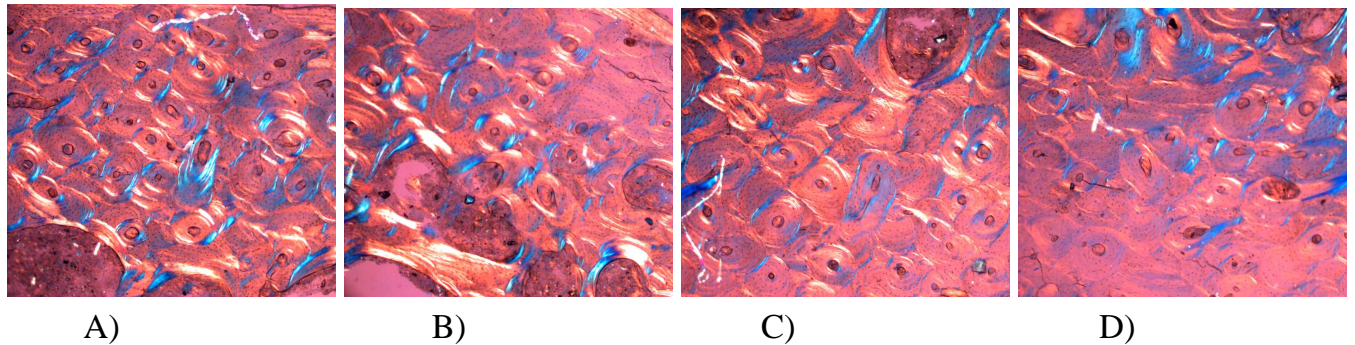
C



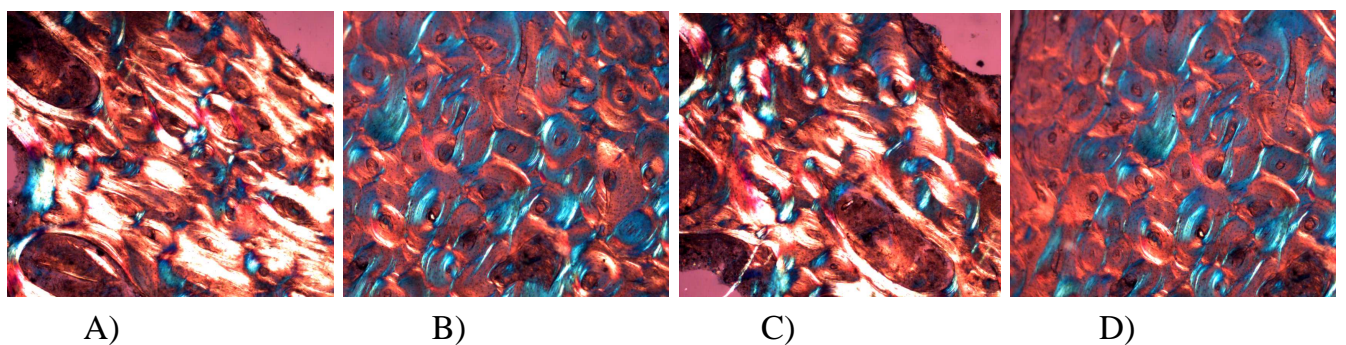
D

**6.2. Analiza porównawcza szlifów trzonu obojczyka oraz szlifów z okolicy końców przyśrodkowego i bocznego przeprowadzona pod mikroskopem w świetle spolaryzowanym przy powiększeniu x50, (Fot. 6-33, A-D).**

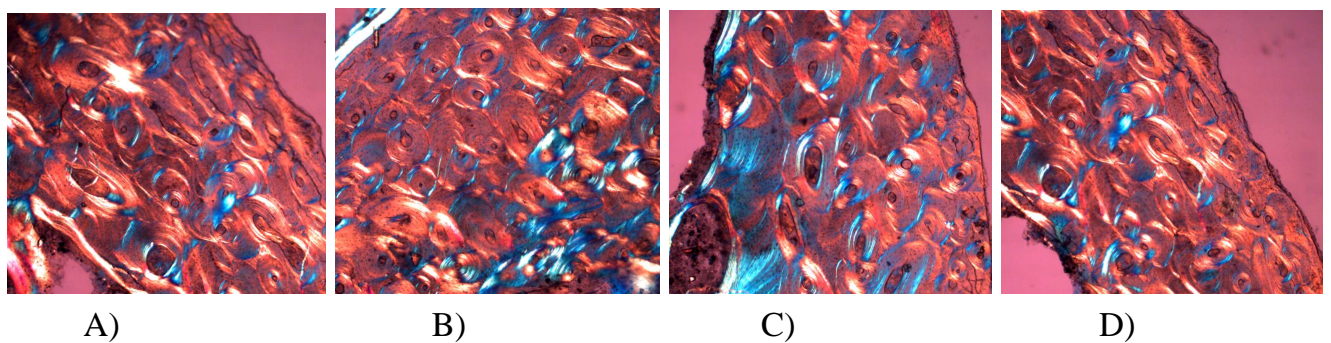
**Fot. 6.**(A-D) Analizowane pola widzenia **szlifów trzonu** obojczyka kobiety w wieku 60 lat. (przypadek nr 297/05)



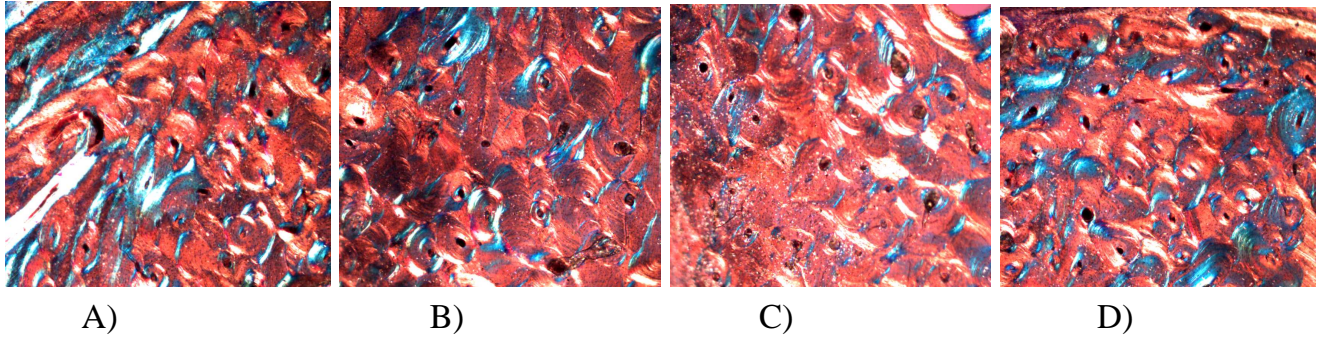
**Fot. 7.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifów końca przyśrodkowego** obojczyka kobiety w wieku 60 lat. (przypadek nr 297/05)



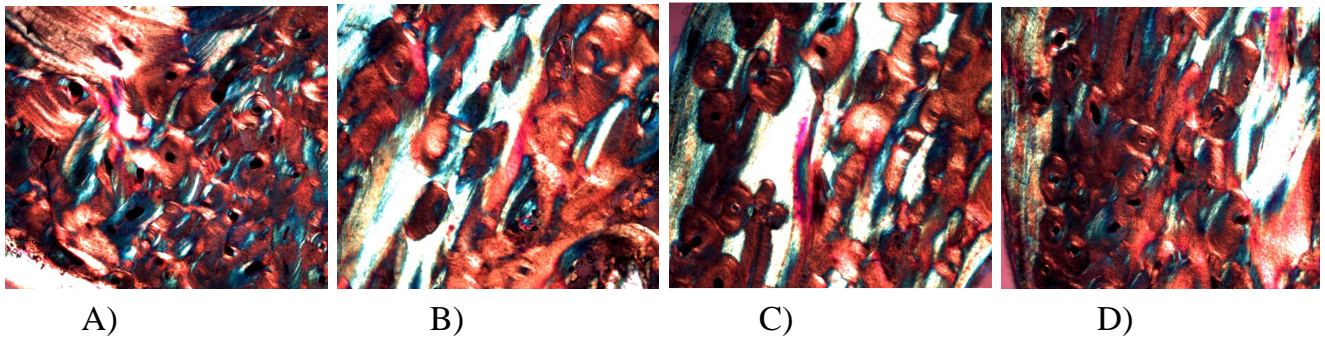
**Fot. 8.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifów końca bocznego** obojczyka kobiety w wieku 60 lat. (przypadek nr 297/05)



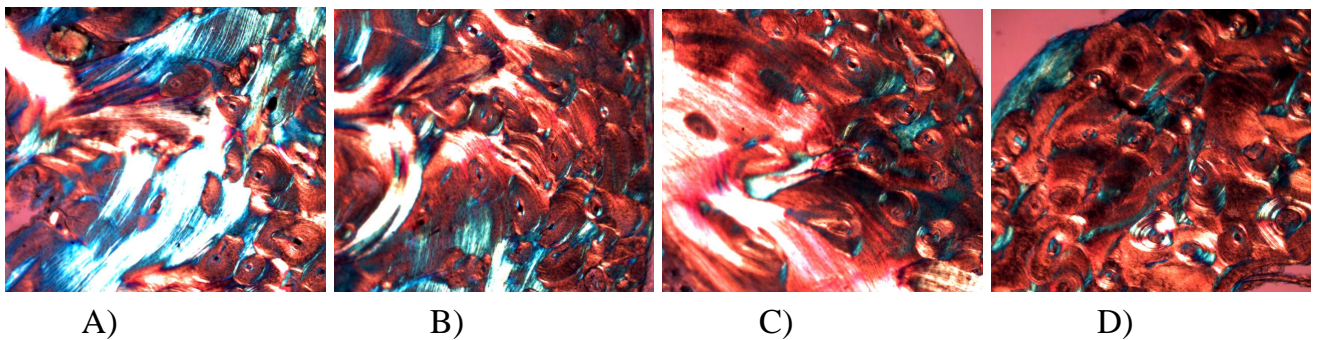
**Fot. 9.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu trzonu** obojczyka mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 298/05)



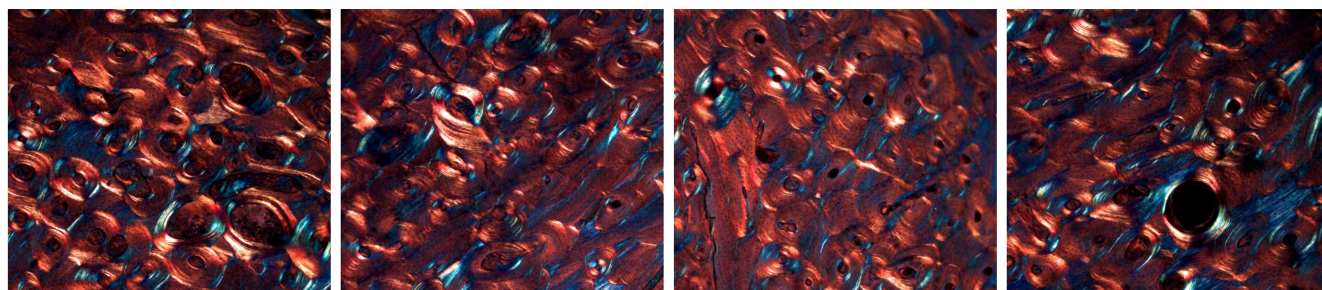
**Fot. 10.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu końca przysrodkowego** obojczyka mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 298/05)



**Fot. 11.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu końca bocznego** obojczyka mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 298/05)



**Fot. 12.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlif trzonu** obojczyka mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 300/05)



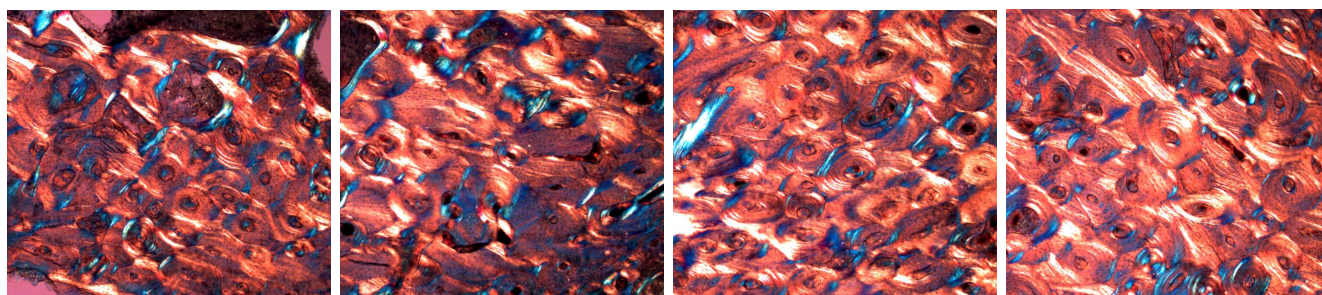
A)

B)

C)

D)

**Fot. 13.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu końca przyśrodkowego** obojczyka mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 300/05)



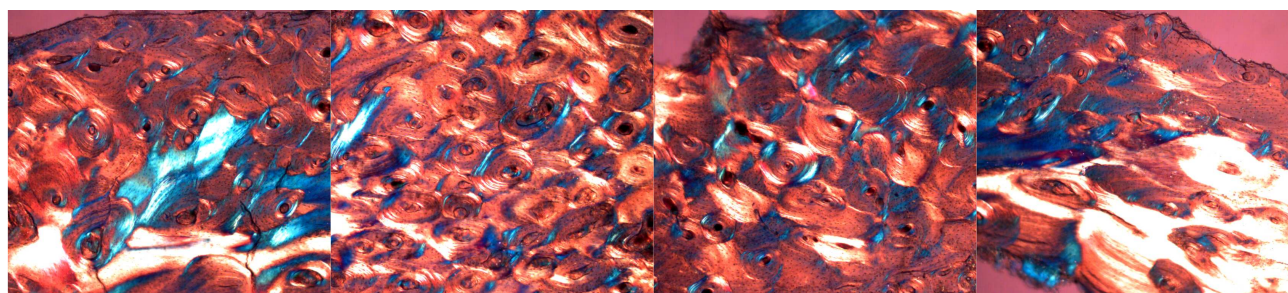
A)

B)

C)

D)

**Fot. 14.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlif końca bocznego** obojczyka mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 300/05)



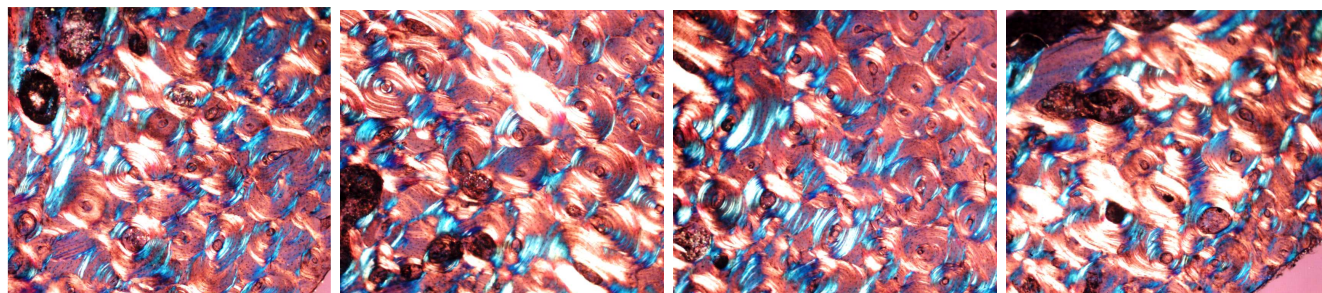
A)

B)

C)

D)

**Fot. 15.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu trzonu** obojczyka mężczyzny w wieku 47 lat. (przypadek nr 301/05)



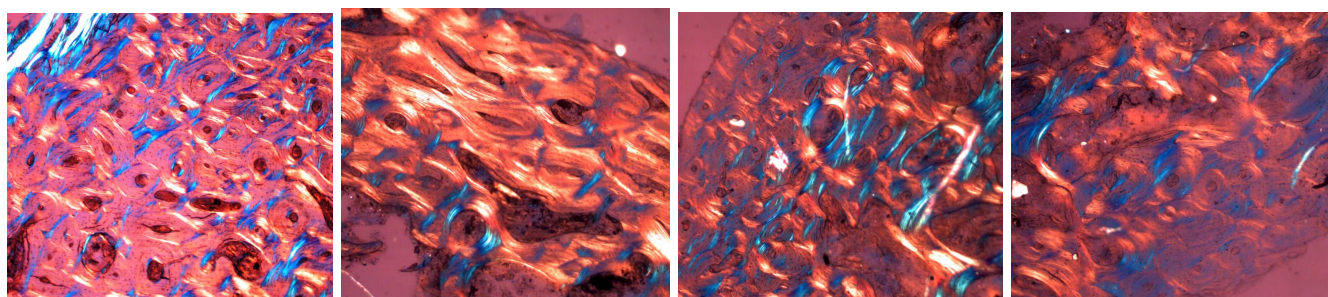
A)

B)

C)

D)

**Fot. 16.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu końca przyśrodkowego** obojczyka mężczyzny w wieku 47 lat. (przypadek nr 301/05)



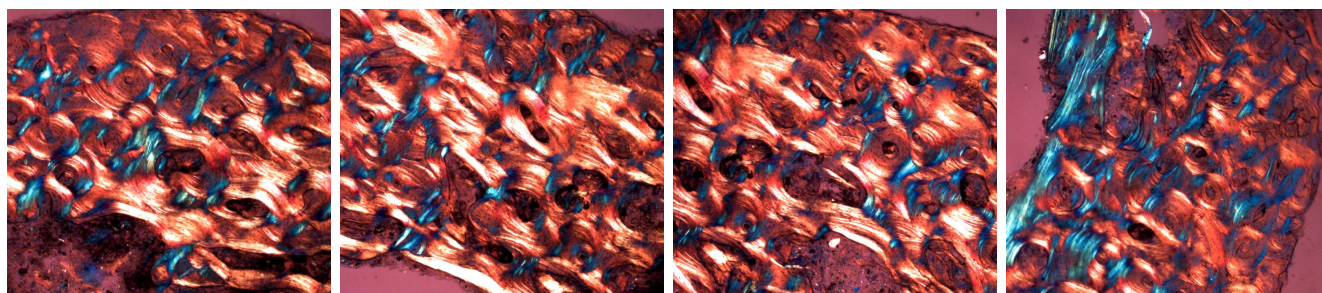
A)

B)

C)

D)

**Fot. 17.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu końca bocznego** obojczyka mężczyzny w wieku 47 lat. (przypadek nr 301/05)



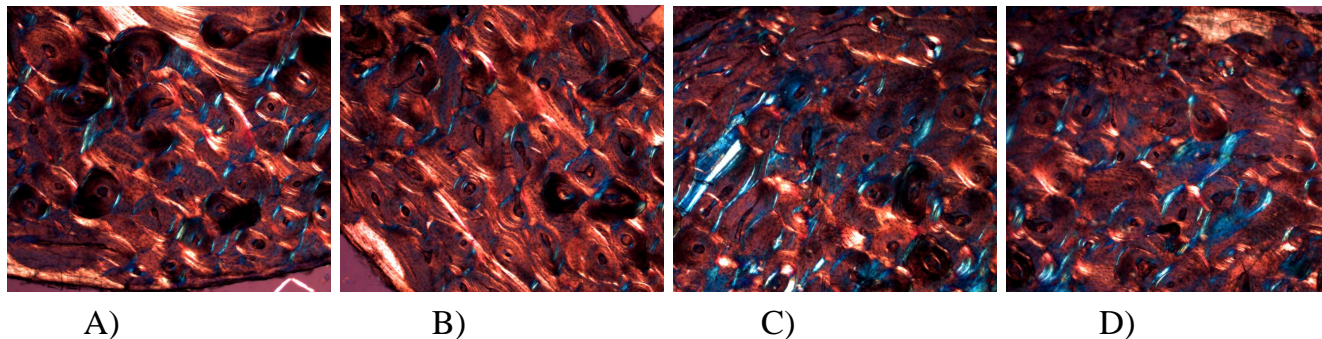
A)

B)

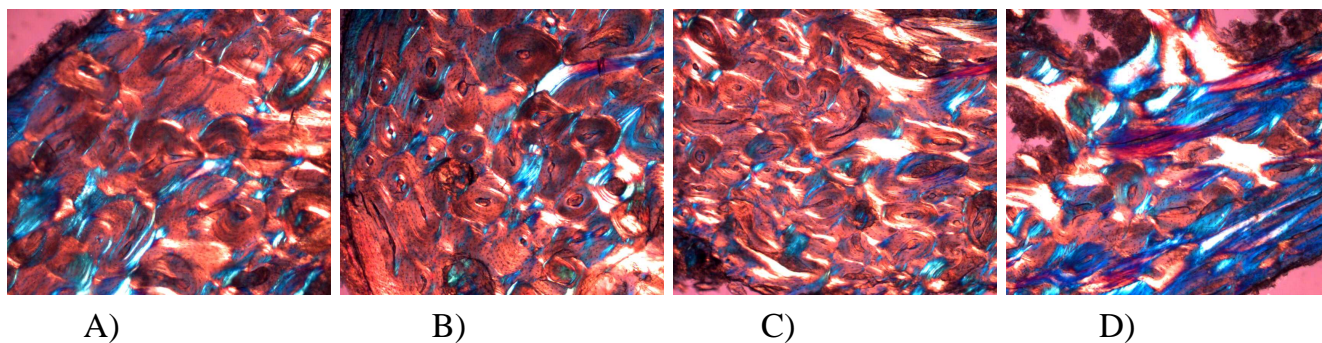
C)

D)

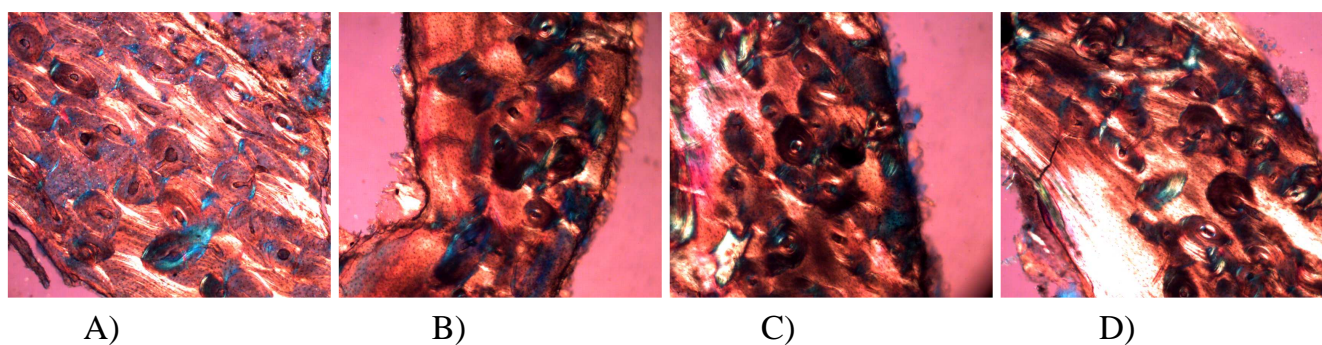
**Fot. 18.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlif trzonu** obojczyka mężczyzny w wieku 46 lat. (przypadek nr 309/05)



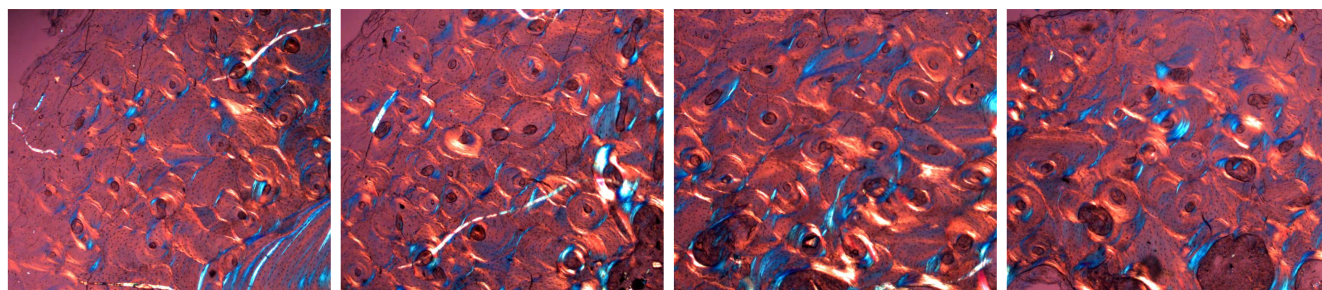
**Fot. 19.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu końca przyśrodkowego** obojczyka mężczyzny w wieku 46 lat. (przypadek nr 309/05)



**Fot. 20.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlif końca bocznego** obojczyka mężczyzny w wieku 46 lat. (przypadek nr 309/05)



**Fot. 21.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu trzonu** obojczyka mężczyzny w wieku 33 lata. (przypadek nr 314/05)



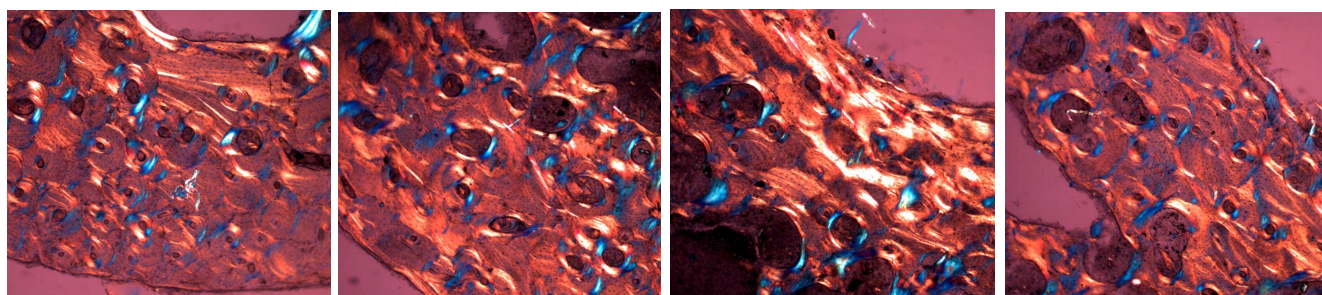
A)

B)

C)

D)

**Fot. 22.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu końca przyśrodkowego** obojczyka mężczyzny w wieku 33 lata. (przypadek nr 314/05)



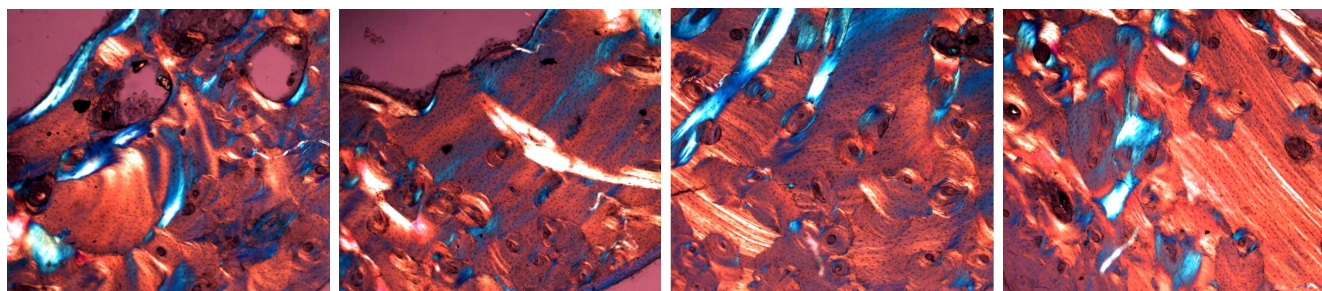
A)

B)

C)

D)

**Fot. 23.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu końca bocznego** obojczyka mężczyzny w wieku 33 lata. (przypadek nr 314/05)



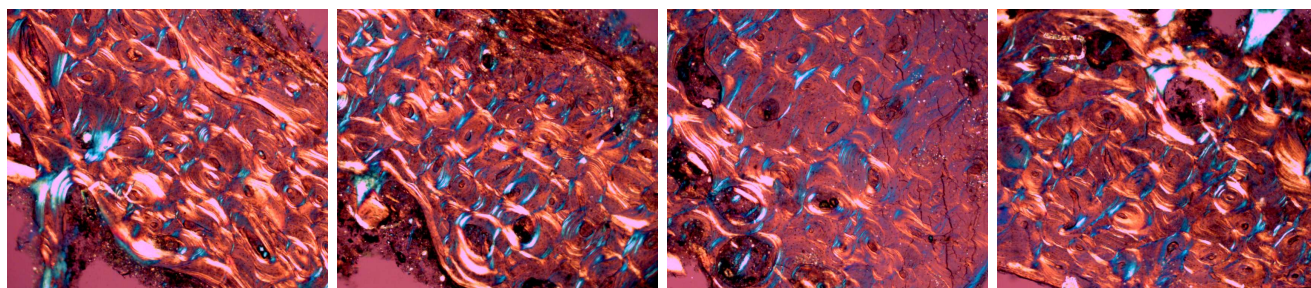
A)

B)

C)

D)

**Fot. 24.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlif u trzonu** obojczyka mężczyzny w wieku 54 lata. (przypadek nr 317/05)



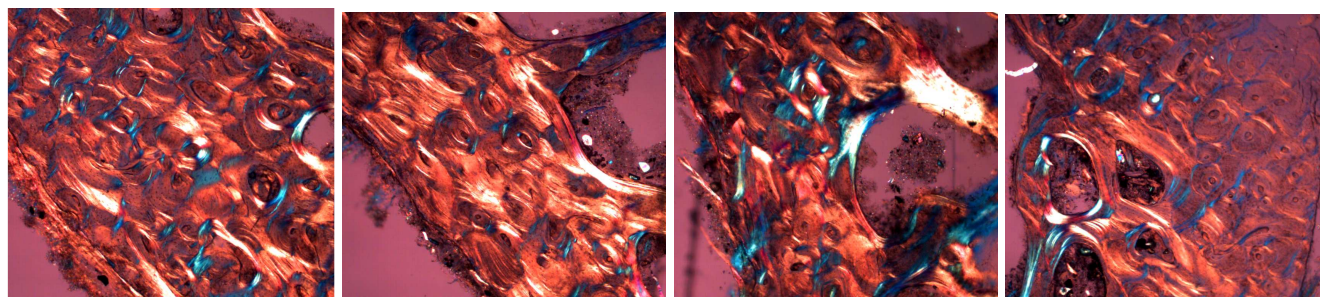
A)

B)

C)

D)

**Fot. 25.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlif u końca przysrodkowego** obojczyka mężczyzny w wieku 54 lata. (przypadek nr 317/05)



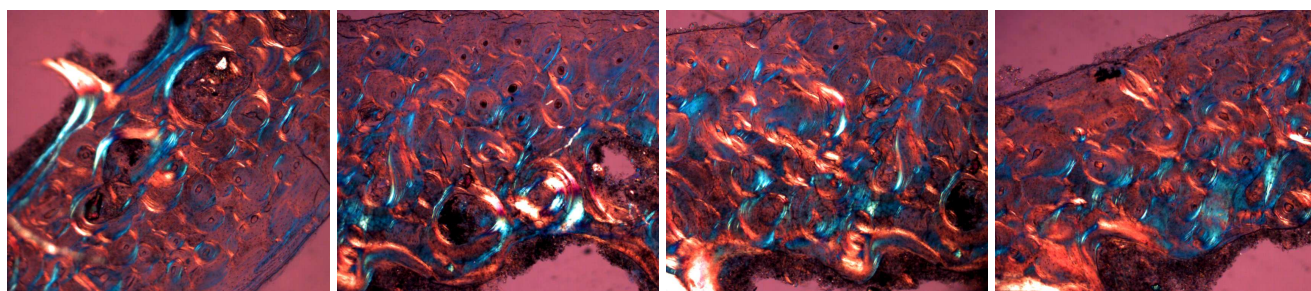
A)

B)

C)

D)

**Fot. 26.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlif u końca bocznego** obojczyka mężczyzny w wieku 54 lata. (przypadek nr 317/05)



A)

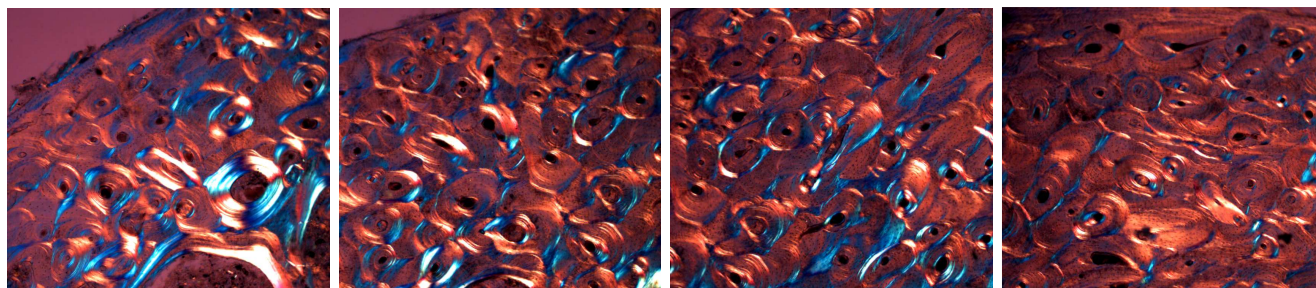
B)

C)

D)



**Fot. 27.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu trzonu** obojczyka mężczyzny w wieku 23 lata. (przypadek nr 334/05)



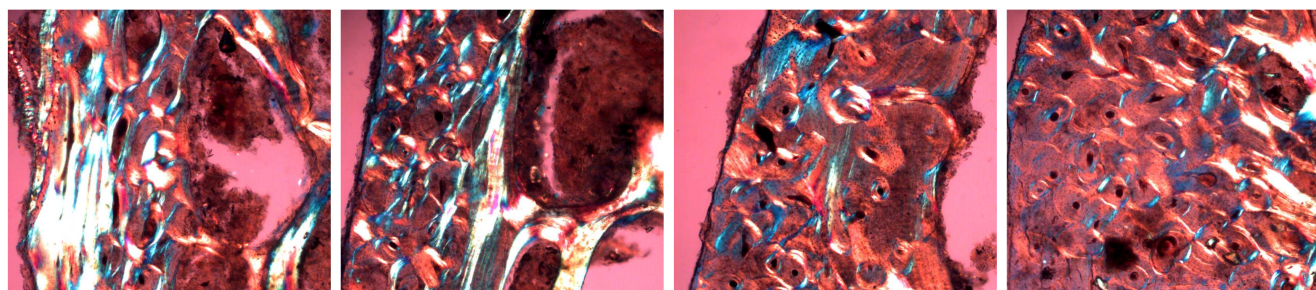
A)

B)

C)

D)

**Fot. 28.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu końca przysrodkowego** obojczyka mężczyzny w wieku 23 lata. (przypadek nr 334/05)



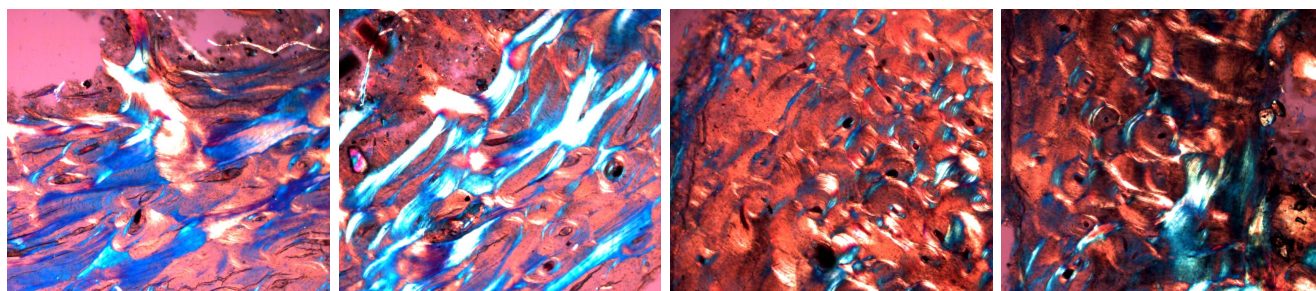
A)

B)

C)

D)

**Fot. 29.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifu końca bocznego** obojczyka mężczyzny w wieku 23 lata. (przypadek nr 334/05)



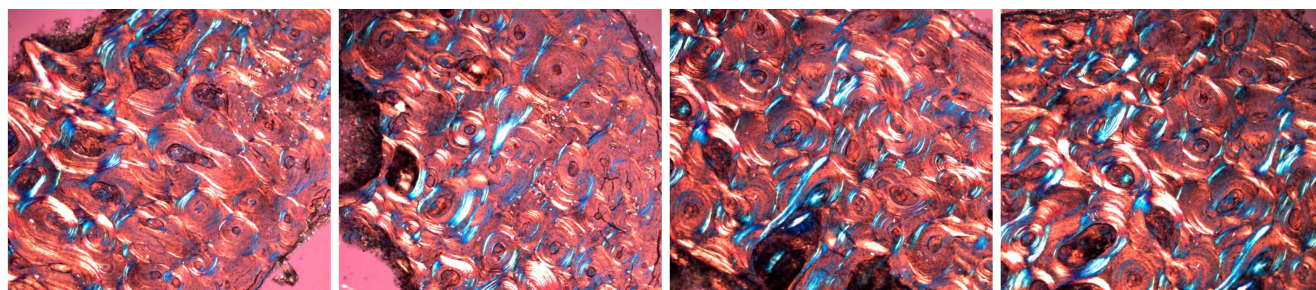
A)

B)

C)

D)

**Fot. 30.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlif trzonu** obojczyka kobiety w wieku 78 lat. (przypadek nr 337/05)



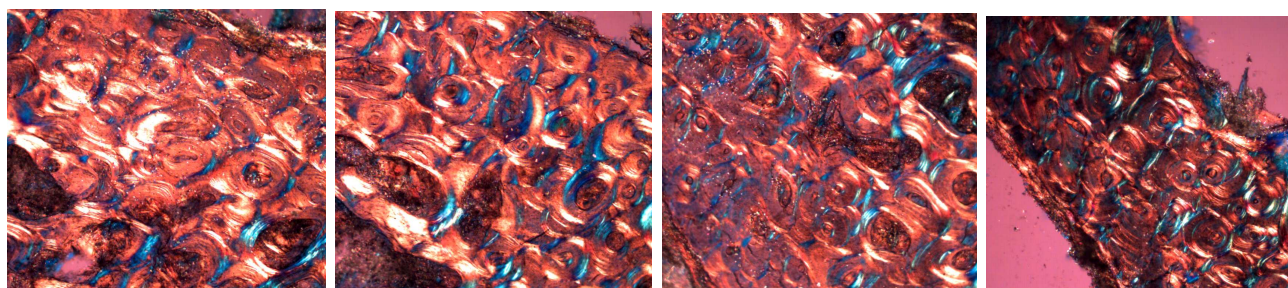
A)

B)

C)

D)

**Fot. 31.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlif końca przysrodkowego** obojczyka kobiety w wieku 78 lat. (przypadek nr 337/05)



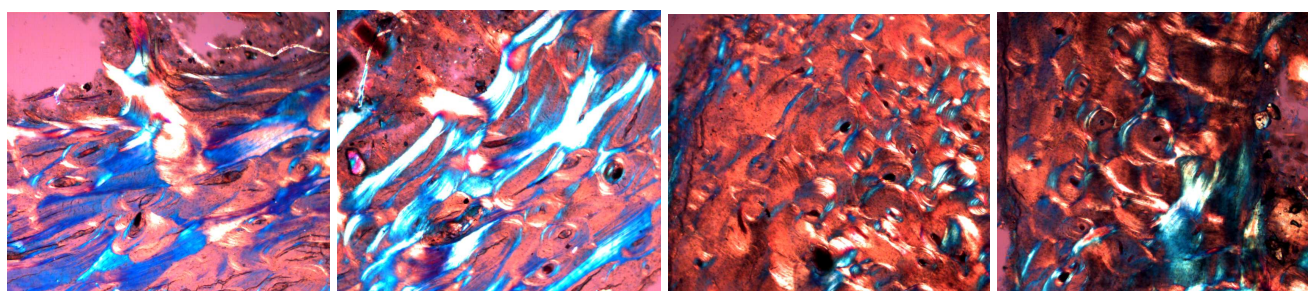
A)

B)

C)

D)

**Fot. 32.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlif końca bocznego** obojczyka kobiety w wieku 78 lat. (przypadek nr 337/05)



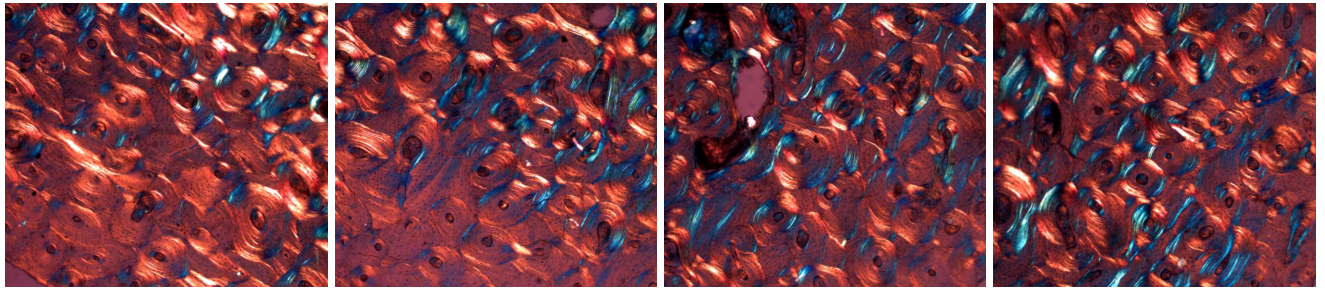
A)

B)

C)

D)

**Fot. 33.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifów trzonu** obojczyka mężczyzny w wieku 62 lata. (przypadek nr 342/05)



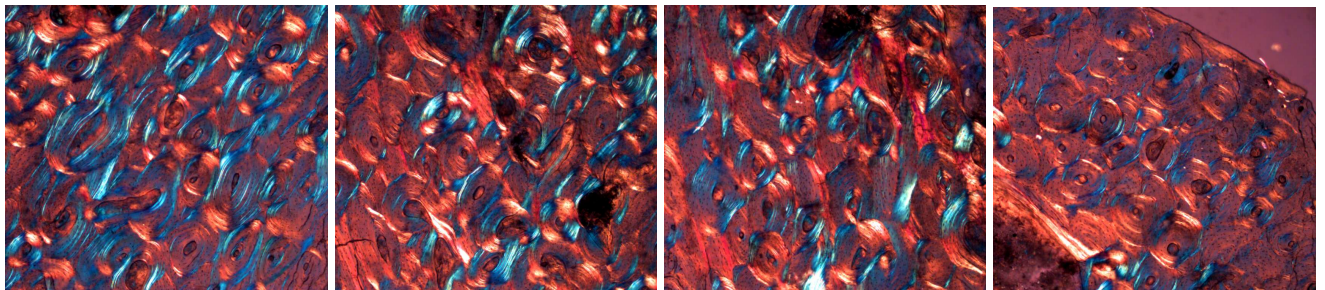
A)

B)

C)

D)

**Fot. 34.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifów końca przysrodkowego** obojczyka mężczyzny w wieku 62 lata. (przypadek nr 342/05)



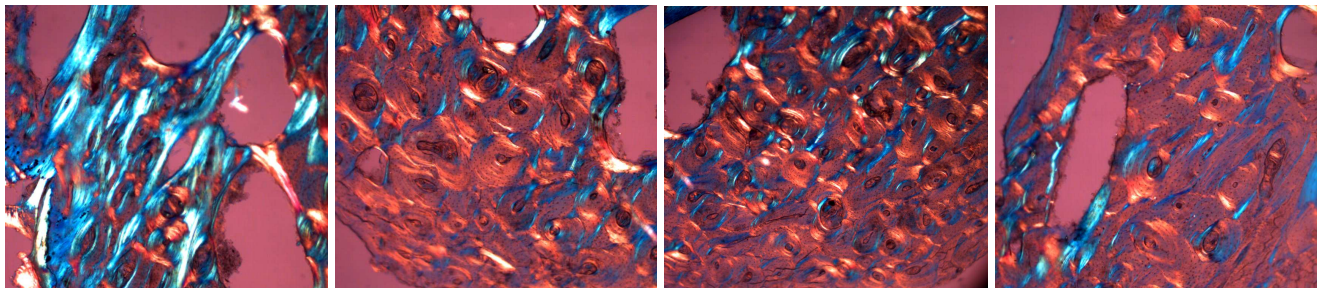
A)

B)

C)

D)

**Fot. 35.** (A-D) Analizowane pola widzenia **szlifów końca bocznego** obojczyka mężczyzny w wieku 62 lata. (przypadek nr 342/05)

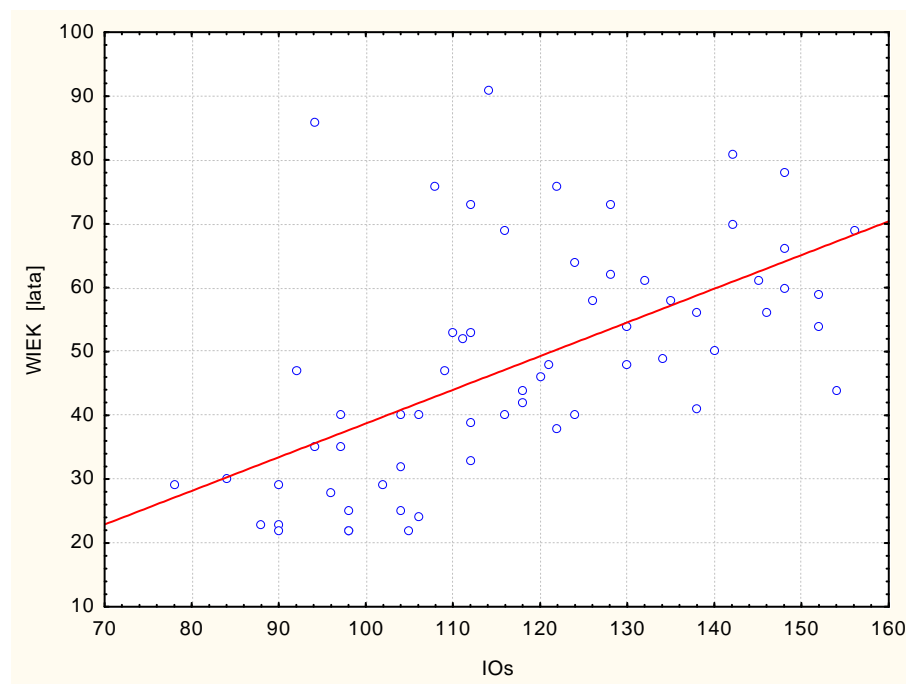


## 6.3. Wyniki modeli regresji jednowymiarowej

### 6.3.1. Wyniki istotne statystycznie

**6.3.1a** Predyktor - liczba osteonów (liczba - szt.) dla grupy ogólnej - oznaczenie w tabelach i rycinach jako IOs

**Ryc. 6.** Wykres rozrzutu parametru IOs i wieku dla grupy ogólnej



**Tab. 4.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność IOs i wieku dla grupy ogólnej

|                            | Wartość    |
|----------------------------|------------|
| R wielorakie               | 0,5854     |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,3427     |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,3321     |
| p                          | 0,00000037 |
| Błąd std. estymacji        | 14,86      |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

| N=64     | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| W. wolny |  |                    | -14,0366                      | 11,04034                 | -1,27139         | 0,208339  |
| IOs      | 0,585436                               | 0,102961           | 0,5276                        | 0,09279                  | 5,68598          | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = -14,04 + 0,5276 * X \pm 14,9$$

$$R = 0,5854;$$

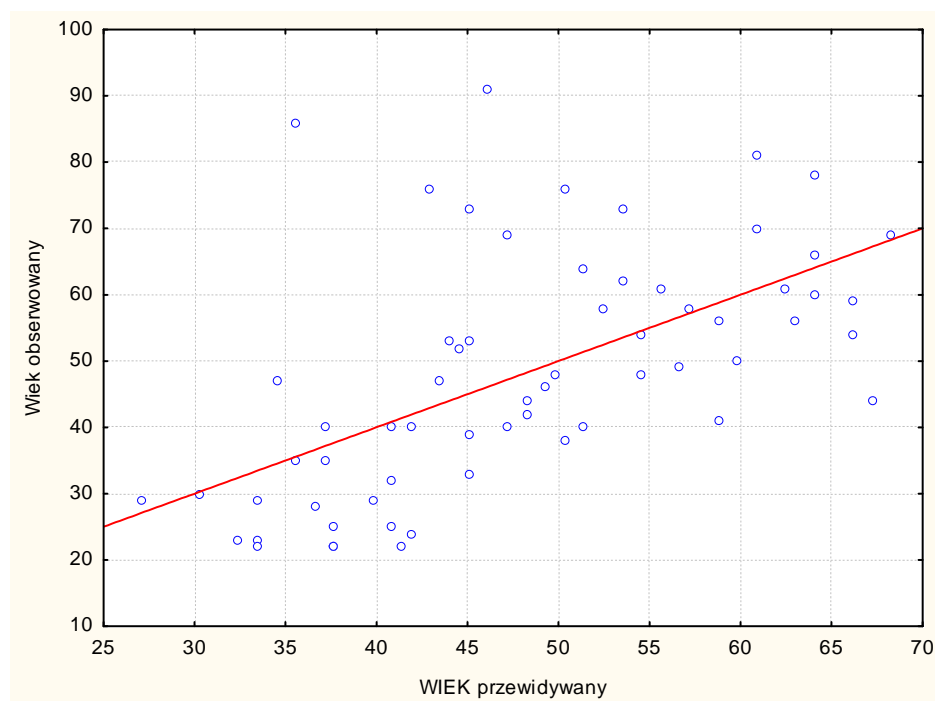
$$R^2 = 34,3\%;$$

$$R^2 \text{ skorygowany} = 33,2\%$$

**Tab. 5.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności IOs i wieku dla grupy ogólnej

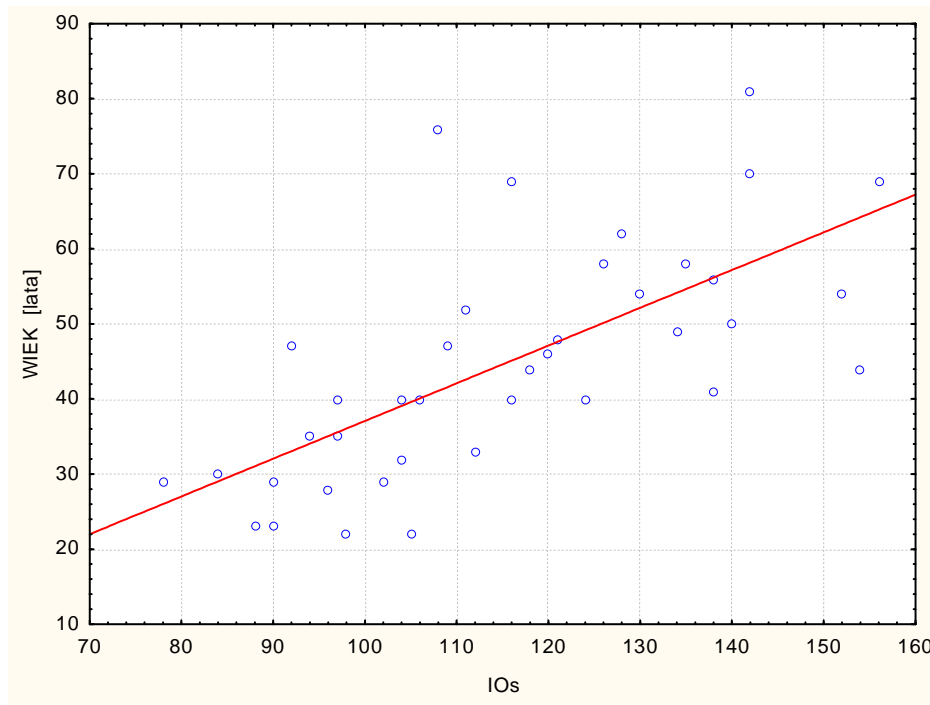
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 27,1                  | -23,2  | -1,94703                            | -1,56247              | 1,858                                   | 0,00126                | 0,00001         |
| Maksim. | 91,0                | 68,3                  | 50,4   | 1,91915                             | 3,39447               | 4,091                                   | 3,79090                | 0,22826         |
| Średnia | 47,8                | 47,8                  | 0,0    | -0,00000                            | -0,00000              | 2,550                                   | 0,98437                | 0,01445         |
| Mediana | 47,0                | 46,6                  | -2,5   | -0,11307                            | -0,16550              | 2,378                                   | 0,63021                | 0,00548         |

**Ryc. 7.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor IOs



Predyktor - liczba osteonów a wiek dla grupy mężczyzn.

Ryc. 8. Wykres rozrzutu parametru IOs i wieku dla grupy mężczyzn.



Tab. 6. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność IOs i wieku dla grupy mężczyzn

|                            | Wartość  |
|----------------------------|----------|
| R wielorakie               | 0,6783   |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,4601   |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,4455   |
| p                          | 0,000002 |
| Błąd std. estymacji        | 11,468   |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

| N=39     | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny |  |                    | -13,1854                      | 10,47797                 | -1,25839         | 0,216133 |
| IOs      | 0,678326                               | 0,120794           | 0,5026                        | 0,08950                  | 5,61556          | 0,000002 |

$$\text{wiek} = -13,19 + 0,5026 * X \pm 11,5$$

R = 0,6783;

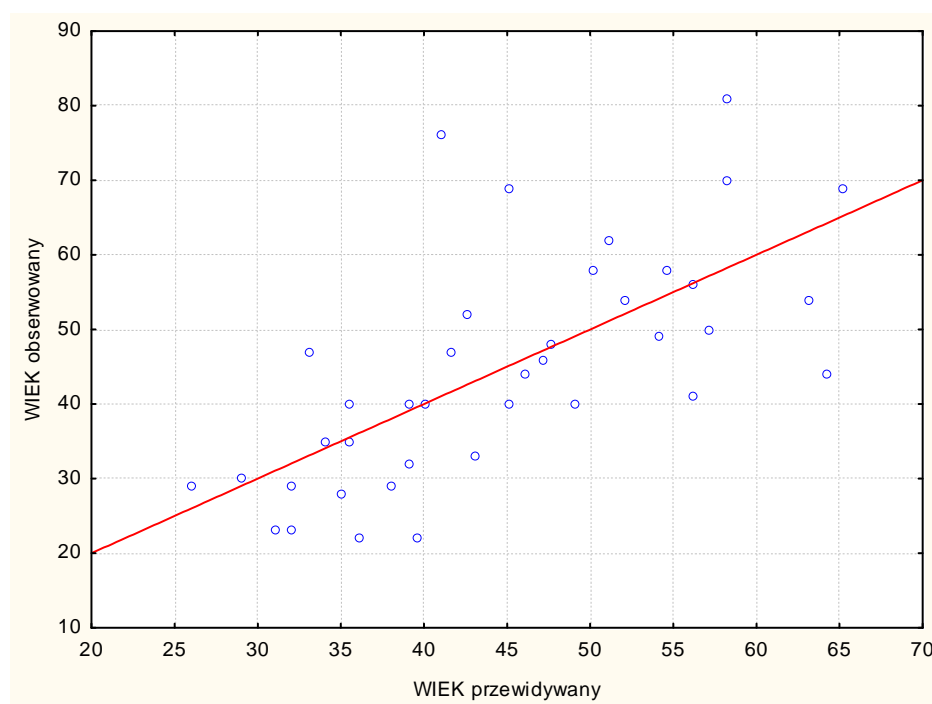
R<sup>2</sup> = 46,01%;

R<sup>2</sup> skorygowany = 44,55%

**Tab. 7.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności IOs i wieku dla grupy mężczyzn.

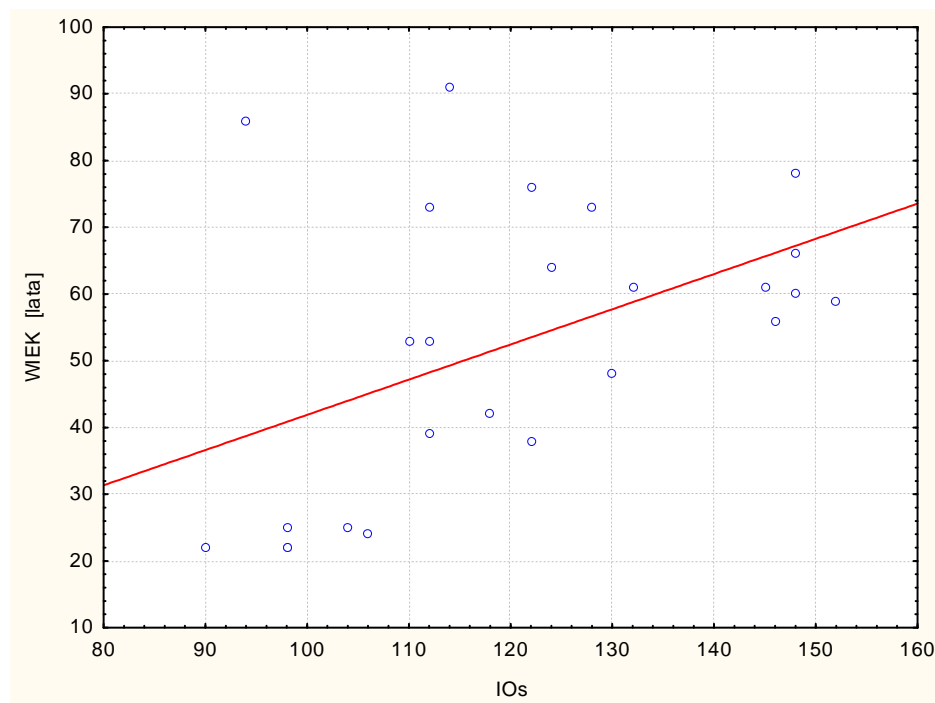
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 26,02                 | -20,21 | -1,792                              | -1,762                | 1,837                                   | 0,0012                 | 0,000001        |
| Maksim. | 81,0                | 65,22                 | 34,90  | 1,960                               | 3,043                 | 4,082                                   | 3,8423                 | 0,2333          |
| Średnia | 44,7                | 44,74                 | 0,0    | 0,00                                | 0,0                   | 2,521                                   | 0,9743                 | 0,0265          |
| Mediana | 44,0                | 43,11                 | -0,17  | -0,156                              | -0,015                | 2,458                                   | 0,7714                 | 0,0090          |

**Ryc. 9.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej predyktor IOs dla grupy mężczyzn.



Predyktor - liczba osteonów a wiek dla grupy kobiet.

**Ryc. 10.** Wykres rozrzutu parametru IOs a wieku dla grupy kobiet



**Tab. 8.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność IOs i wieku dla grupy kobiet

|                            | Wartość |
|----------------------------|---------|
| R wielorakie               | 0,4754  |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,2261  |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,1924  |
| p                          | 0,01629 |
| Błąd std. estymacji        | 19,112  |

model istotny statystycznie p<0,05

| N=25     | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji β | Błąd standardowy β | Statystyka t(62) | p        |
|----------|--|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|----------|
| W. wolny |  |                    | -10,8657                | 24,81159           | -0,437928        | 0,665523 |
| IOs      | 0,475479                               | 0,183436           | 0,5276                  | 0,20355            | 2,592074         | 0,016296 |

$$\text{wiek} = -10,87 + 0,5276 * X \pm 19,1$$

R= 0, 4755;

R<sup>2</sup> = 22,61%;

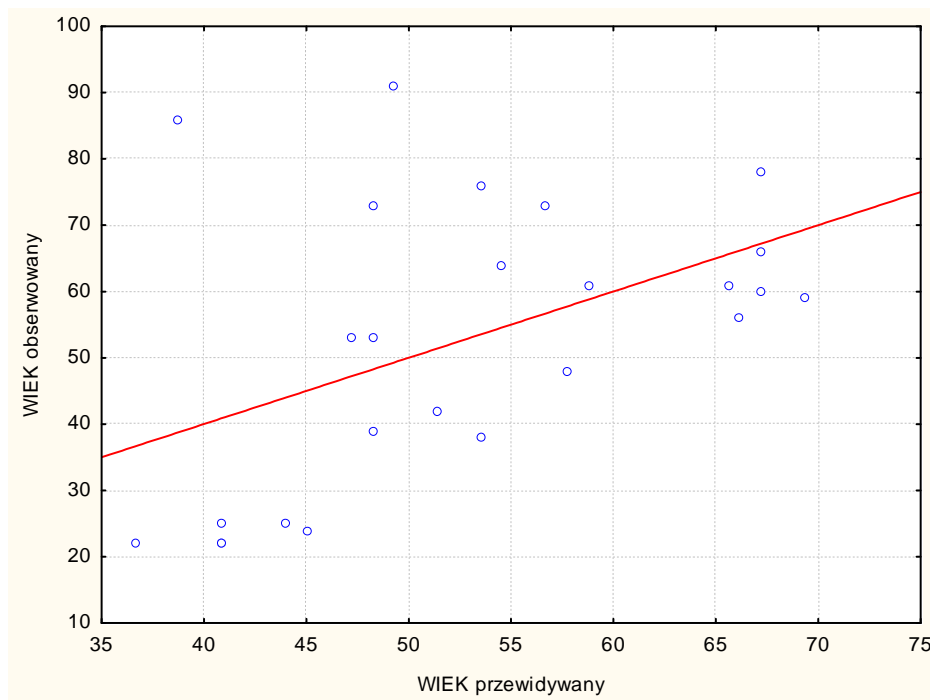
R<sup>2</sup> skorygowany = 19,24%



**Tab. 9.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności IOs i wieku dla grupy kobiet.

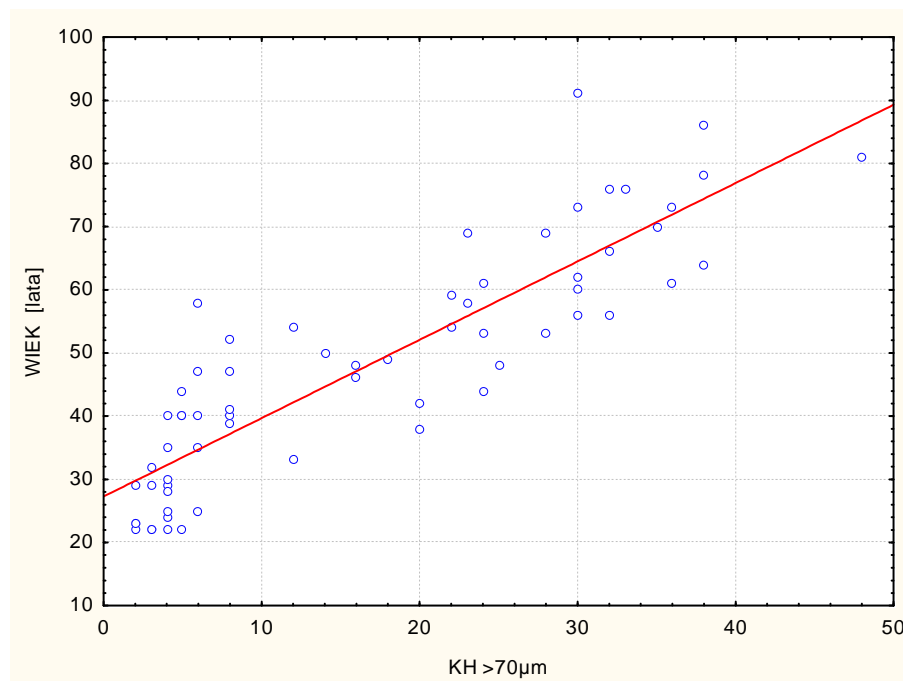
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 36,6                  | -21,06 | -1,588                              | -1,102                | 3,835                                   | 0,00662                | 0,00033         |
| Maksim. | 91,0                | 69,3                  | 47,27  | 1,646                               | 2,473                 | 7,475                                   | 2,71147                | 0,47042         |
| Średnia | 52,68               | 52,68                 | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 5,262                                   | 0,96000                | 0,04470         |
| Mediana | 56,0                | 51,39                 | -7,22  | -0,127                              | -0,377                | 4,822                                   | 0,56763                | 0,02056         |

**Ryc. 11.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor IOs.



**6.3.1b** Predyktor - liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70μm, (liczba - szt.) dla grupy ogólnej - oznaczenie w tabelach i rycinach jako KH >70μm

**Ryc. 12.** Wykres rozrzutu parametru KH >70μm i wieku dla grupy ogólnej



**Tab. 10.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność KH >70μm i wieku dla grupy ogólnej

|                            | Wartość   |
|----------------------------|-----------|
| R wielorakie               | 0,8753    |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,7662    |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,7624    |
| p                          | 3,098E-21 |
| Błąd std. estymacji        | 8,86      |

model istotny statystycznie p<0,00001

| N=64     | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji β | Błąd standardowy β | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|-----------|
| W. wolny |  |                    | 27,27891                | 1,818751           | 14,99870         | 0,0000001 |
| KH >70μm | 0,875356                               | 0,061402           | 1,24048                 | 0,087014           | 14,25618         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = 27,28 + 1,2405 * X \pm 8,9$$

$$R=0,8754$$

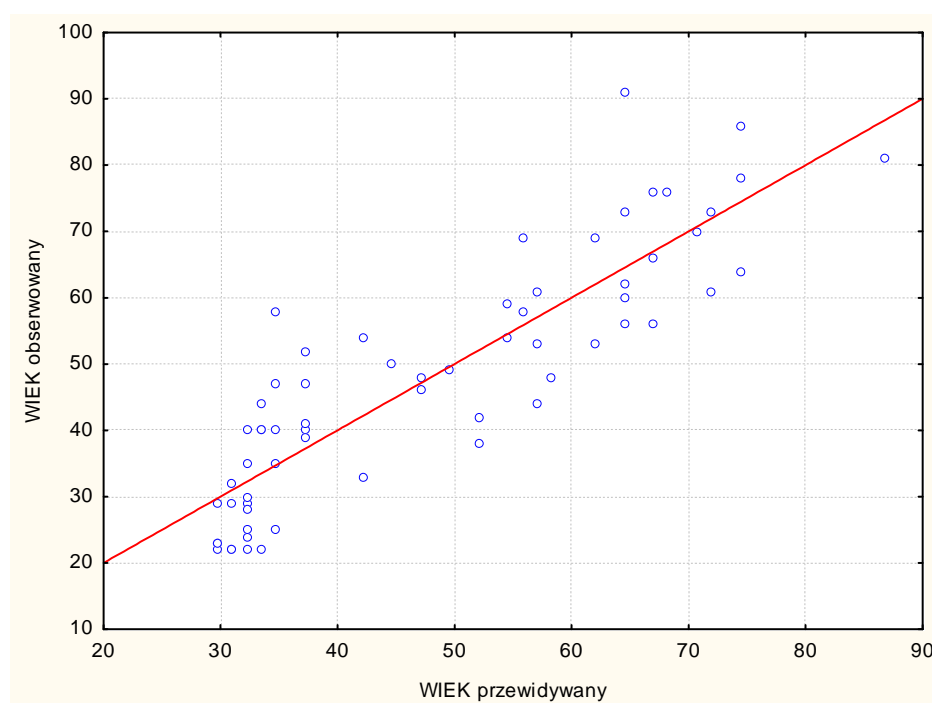
$$R^2=76,62\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=76,25\%$$

**Tab. 11.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy ogólnej

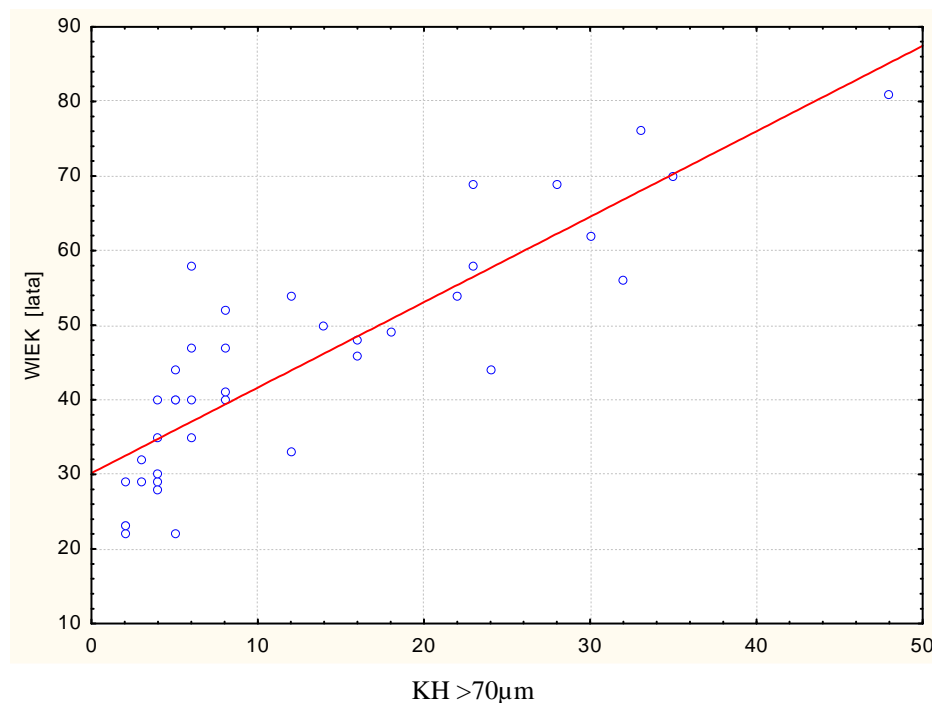
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 29,7                  | -14,08 | -1,136                              | -1,589                | 1,108836                                | 0,00203                | 0,0004          |
| Maksim. | 91,0                | 86,8                  | 26,51  | 2,448                               | 2,991                 | 2,949991                                | 5,99733                | 0,1548          |
| Średnia | 47,8                | 47,8                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,534575                                | 0,98437                | 0,0127          |
| Mediana | 47,0                | 43,4                  | -0,16  | -0,278                              | -0,073                | 1,527253                                | 0,88764                | 0,0103          |

**Ryc. 13.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor KH >70 $\mu$ m



Predyktor - liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70μm dla grupy mężczyzn

Ryc. 14. Wykres rozrzutu parametru KH >70μm i wieku dla grupy mężczyzn



Tab. 12. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność KH >70μm i wieku dla grupy mężczyzn

|                            | Wartość        |
|----------------------------|----------------|
| R wielorakie               | 0,8590         |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,7379         |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,7308         |
| p                          | 0,000000000002 |
| Błąd std. estymacji        | 7,9894         |

model istotny statystycznie p<0,00001

| N=39     | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji β | Błąd standardowy β | Statystyka t(62) | p        |
|----------|--|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|----------|
| W. wolny |  |                    | 30,17615                | 1,916539           | 15,74513         | 0,000001 |
| KH >70μm | 0,859054                               | 0,084153           | 1,14542                 | 0,112206           | 10,20820         | 0,000001 |

$$\text{wiek} = 30,18 + 1,1454 * X \pm 8,0$$

$$R = 0,8591$$

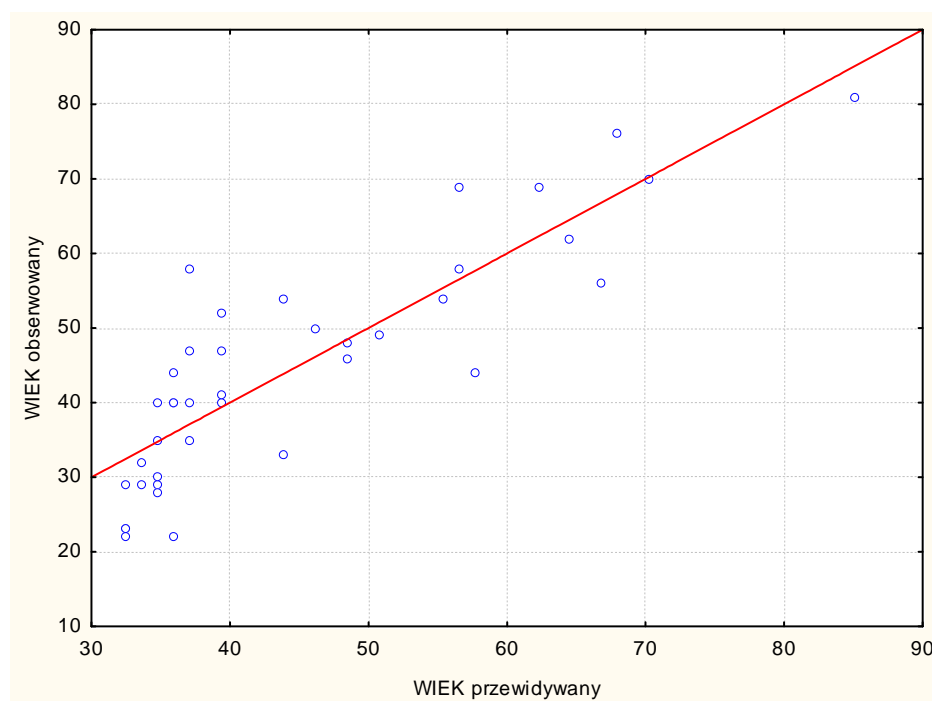
$$R^2 = 73,78\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2 = 73,09\%$$

**Tab. 13.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy mężczyzn

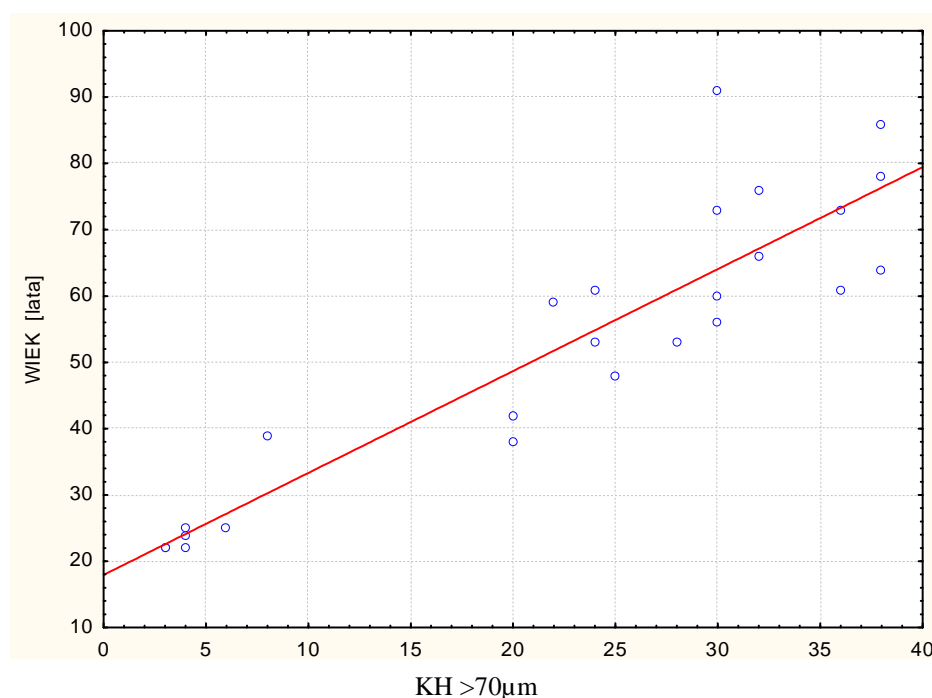
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta  | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|---------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 32,5                  | -13,90  | -0,9279                             | -1,74021              | 1,281869                                | 0,003863               | 0,000020        |
| Maksim. | 81,0                | 85,2                  | 20,95   | 3,0545                              | 2,62237               | 4,160448                                | 9,330224               | 0,127424        |
| Średnia | 44,7                | 44,7                  | 0,0     | 0,0                                 | -0,00000              | 1,729979                                | 0,974359               | 0,024856        |
| Mediana | 44,0                | 39,3                  | -0,5029 | -0,4084                             | -0,06295              | 1,610463                                | 0,569657               | 0,009503        |

**Ryc. 15.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor KH >70 $\mu$ m.



Predyktor - liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70μm dla grupy kobiet

Ryc. 16. Wykres rozrzutu parametru KH >70μm i wieku dla grupy kobiet



Tab.14 Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność KH >70μm i wieku dla grupy kobiet

|                            | Wartość     |
|----------------------------|-------------|
| R wielorakie               | 0,9113      |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,8304      |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,8231      |
| p                          | 0,000000002 |
| Błąd std. estymacji        | 8,9447      |

model istotny statystycznie p<0,00001

| N=25     | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji β | Błąd standardowy β | Statystyka t(62) | p        |
|----------|--|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|----------|
| W. wolny |  |                    | 17,93383                | 3,730259           | 4,80766          | 0,000075 |
| KH >70μm | 0,911308                               | 0,085851           | 1,53744                 | 0,144836           | 10,61502         | 0,000000 |

$$\text{wiek} = 17,93 + 1,5374 * X \pm 8,9$$

$$R = 0,9113$$

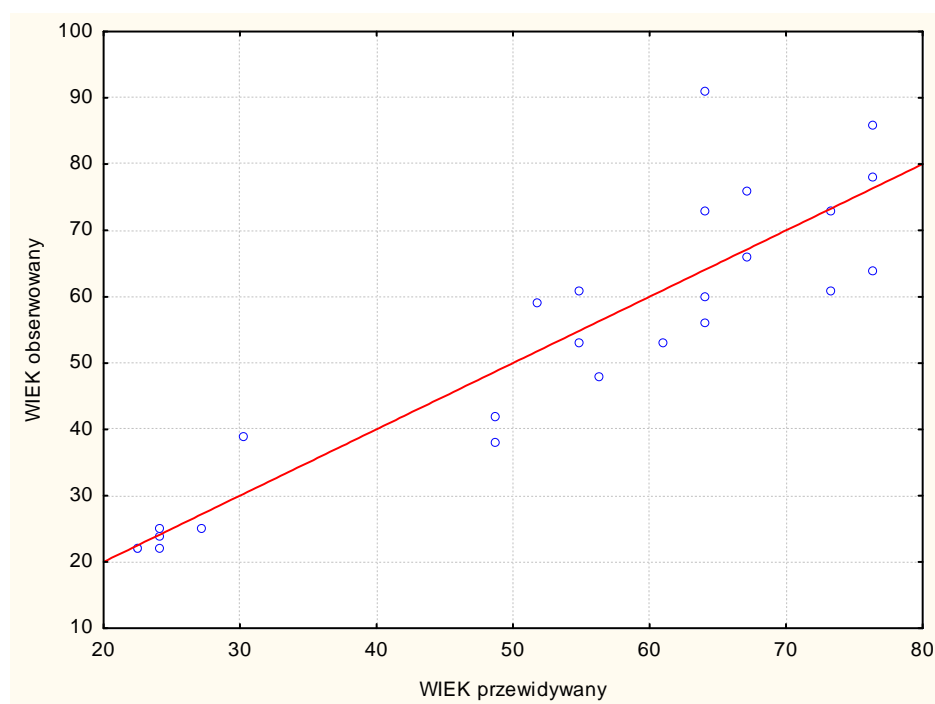
$$R^2 = 83,05\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2 = 82,31\%$$

**Tab. 15.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy kobiet

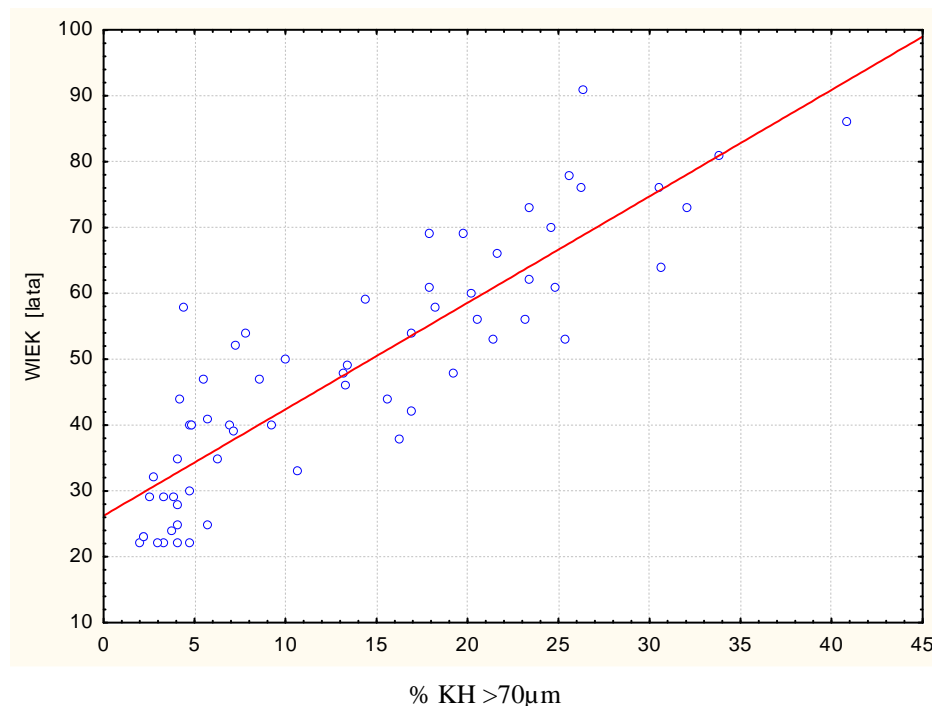
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 22,5                  | -12,3  | -1,554                              | -1,381                | 1,79105                                 | 0,0022                 | 0,0000          |
| Maksim. | 91,0                | 76,3                  | 26,9   | 1,221                               | 3,012                 | 3,35545                                 | 2,417                  | 0,2757          |
| Średnia | 52,68               | 52,6                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 2,46787                                 | 0,960                  | 0,0338          |
| Mediana | 56,0                | 56,3                  | -0,54  | 0,190                               | -0,061                | 2,24809                                 | 0,556                  | 0,0126          |

**Ryc. 17.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor KH >70 $\mu$ m.



**6.3.1c** Predyktor - stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70μm do ogólnej liczby osteonów (%) dla grupy ogólnej - oznaczenie w tabelach i rycinach jako %KH >70μm

**Ryc. 18.** Wykres rozrzutu parametru % KH >70μm i wieku dla grupy ogólnej



**Tab. 16.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność % KH >70μm i wieku dla grupy ogólnej

|                            | Wartość    |
|----------------------------|------------|
| R wielorakie               | 0,87643    |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,7681     |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,7644     |
| p                          | 2,4041E-21 |
| Błąd std. estymacji        | 8,822      |

Model istotny statystycznie p<0,00001

| N=64       | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji β | Błąd standardowy β | Statystyka t(62) | p         |
|------------|--|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|-----------|
| W. wolny   |  |                    | 26,22919                | 1,868548           | 14,03720         | 0,0000001 |
| % KH >70μm | 0,876439                               | 0,061152           | 1,61661                 | 0,112797           | 14,33207         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = 26,23 + 1,6166 * X \pm 8,8$$

$$R=0,8764$$

$$R^2=76,81\%$$

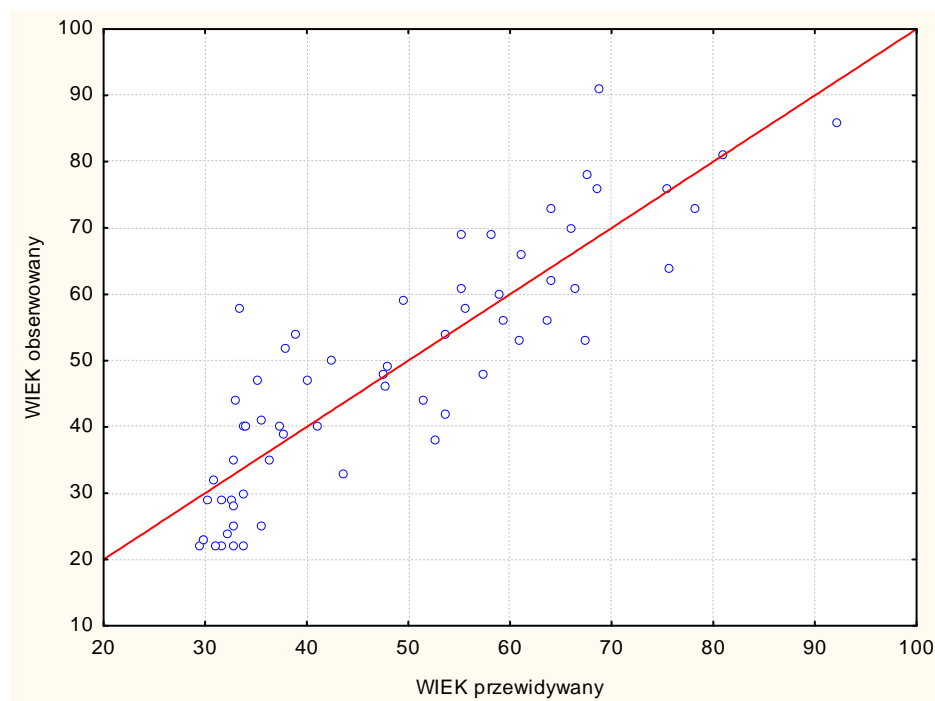
$$\text{Skoryg. } R^2=76,44\%$$



**Tab. 17.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności % KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy ogólnej

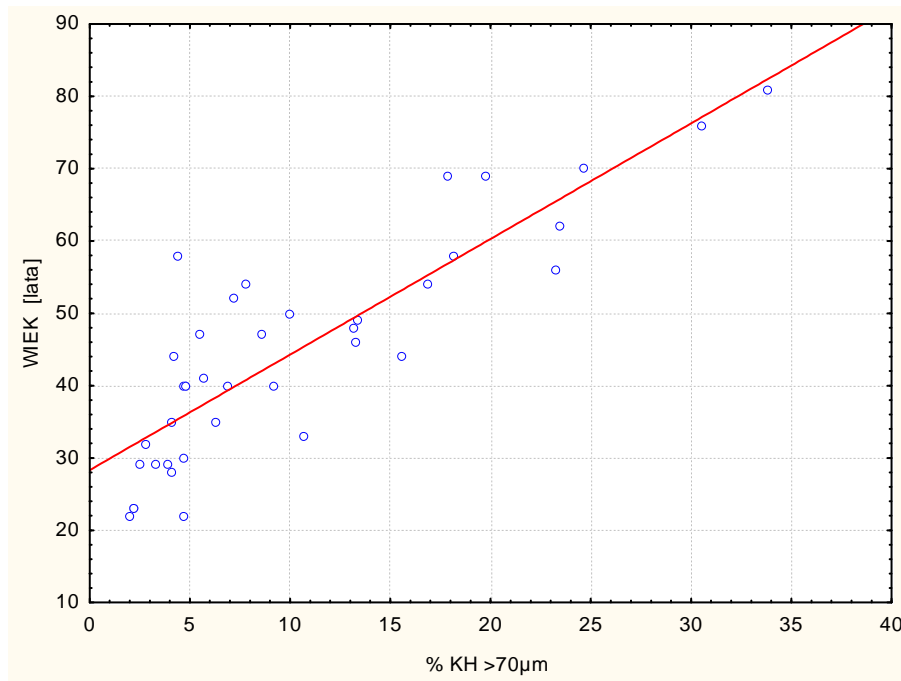
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 29,4                  | -14,57 | -1,153                              | -1,652                | 1,103197                                | 0,000009               | 0,000011        |
| Maksim. | 91,0                | 92,2                  | 24,6   | 2,782                               | 2,793                 | 3,284769                                | 7,742696               | 0,149008        |
| Średnia | 47,8                | 47,8                  | 0,0    | 0,0                                 | -0,00000              | 1,515455                                | 0,984375               | 0,015888        |
| Mediana | 47,0                | 42,9                  | -0,48  | -0,306                              | -0,05510              | 1,474272                                | 0,773606               | 0,008338        |

**Ryc. 19.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor % KH >70 $\mu$ m.



Predyktor - stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70μm do ogólnej liczby osteonów dla grupy mężczyzn

**Ryc. 20.** Wykres rozrzutu parametru % KH >70μm i wieku dla grupy mężczyzn



**Tab. 18.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność % KH >70μm i wieku dla grupy mężczyzn

|                            | Wartość   |
|----------------------------|-----------|
| R wielorakie               | 0,8609    |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,7412    |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,7342    |
| p                          | 2,064E-12 |
| Błąd std. estymacji        | 7,93      |

Model istotny statystycznie p<0,00001

|             | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji β | Błąd standardowy β | Statystyka t(62) | p         |
|-------------|--|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|-----------|
| N=39        |  |                    |                         |                    |                  |           |
| W. wolny    |  |                    | 28,30291                | 2,041193           | 13,86587         | 0,0000001 |
| % KH > 70μm | 0,860954                               | 0,083627           | 1,59857                 | 0,155274           | 10,29518         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = 28,30 + 1,5986 * X \pm 7,9$$

$$R=0,8610$$

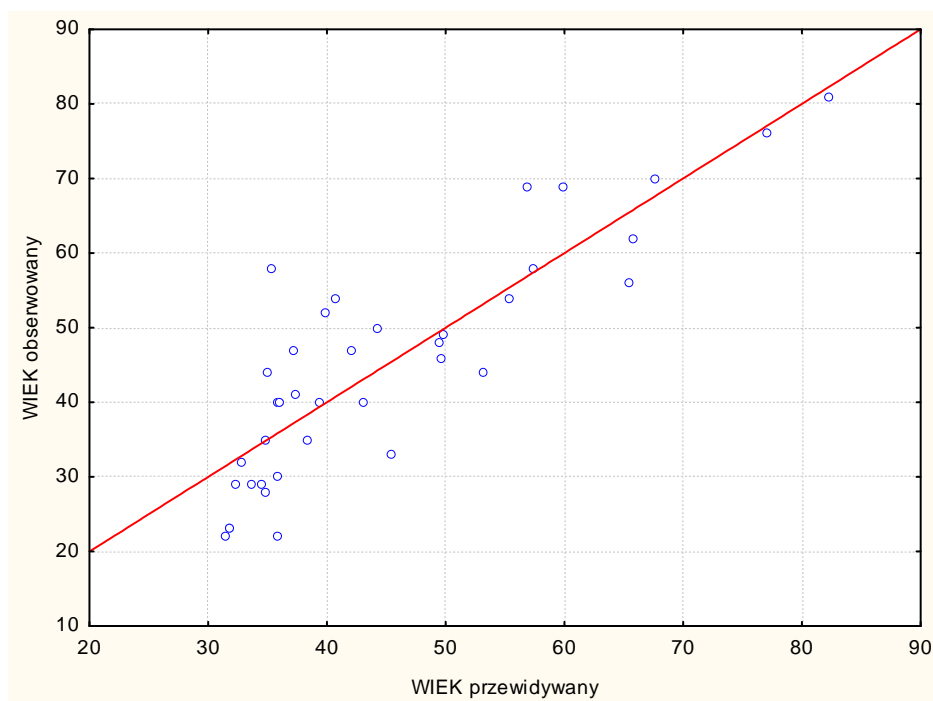
$$R^2=74,12\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=73,42\%$$

**Tab. 19.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności % KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy mężczyzn

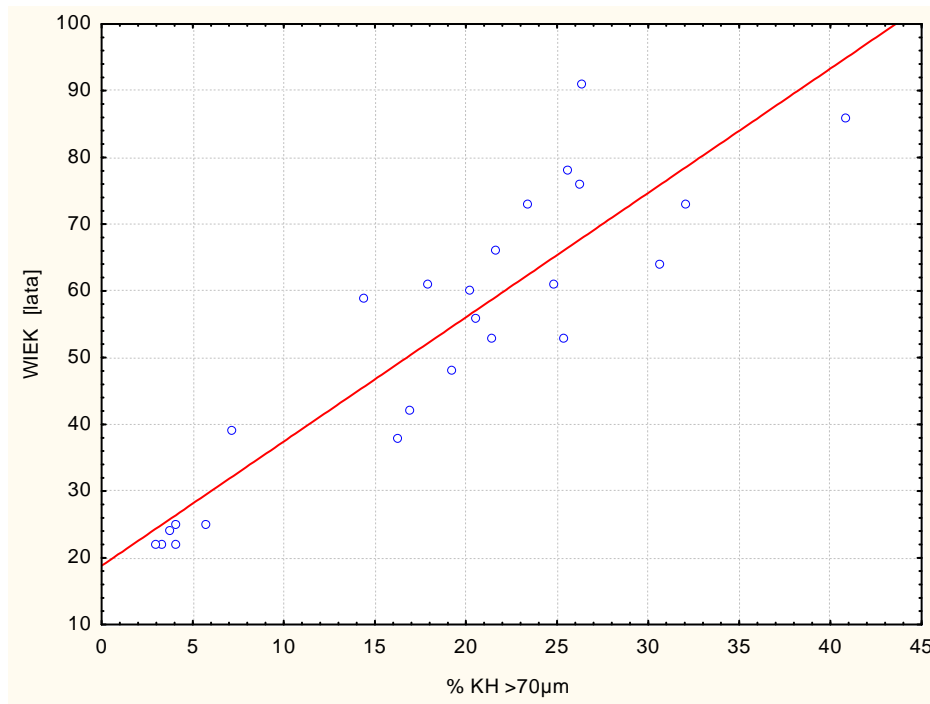
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 31,5                  | -13,8  | -0,9987                             | -1,740                | 1,272                                   | 0,00117                | 0,00001         |
| Maksim. | 81,0                | 82,3                  | 22,6   | 2,8349                              | 2,854                 | 3,866                                   | 8,03712                | 0,17150         |
| Średnia | 44,7                | 44,7                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,716                                   | 0,97435                | 0,02146         |
| Mediana | 44,0                | 39,3                  | -1,059 | -0,408                              | -0,133                | 1,565                                   | 0,50330                | 0,00699         |

**Ryc. 21.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor % KH >70 $\mu$ m.



Predyktor - stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70μm do ogólnej liczby osteonów dla grupy kobiet

**Ryc. 22.** Wykres rozrzutu parametru % KH >70μm i wieku dla grupy kobiet



**Tab. 20.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność % KH >70μm i wieku dla grupy kobiet

|                            | Wartość   |
|----------------------------|-----------|
| R wielorakie               | 0,9039    |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,8171    |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,8092    |
| p                          | 0,0000001 |
| Błąd std. estymacji        | 9,2909    |

model istotny statystycznie p<0,00001

| N=25       | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji β | Błąd standardowy β | Statystyka t(62) | p        |
|------------|--|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|----------|
| W. wolny   |  |                    | 18,81110                | 3,823116           | 4,92036          | 0,000057 |
| %KH > 70μm | 0,903939                               | 0,089173           | 1,86257                 | 0,183742           | 10,13686         | 0,000001 |

$$\text{wiek} = 18,81 + 1,8626 * X \pm 9,3$$

$$R=0,9039$$

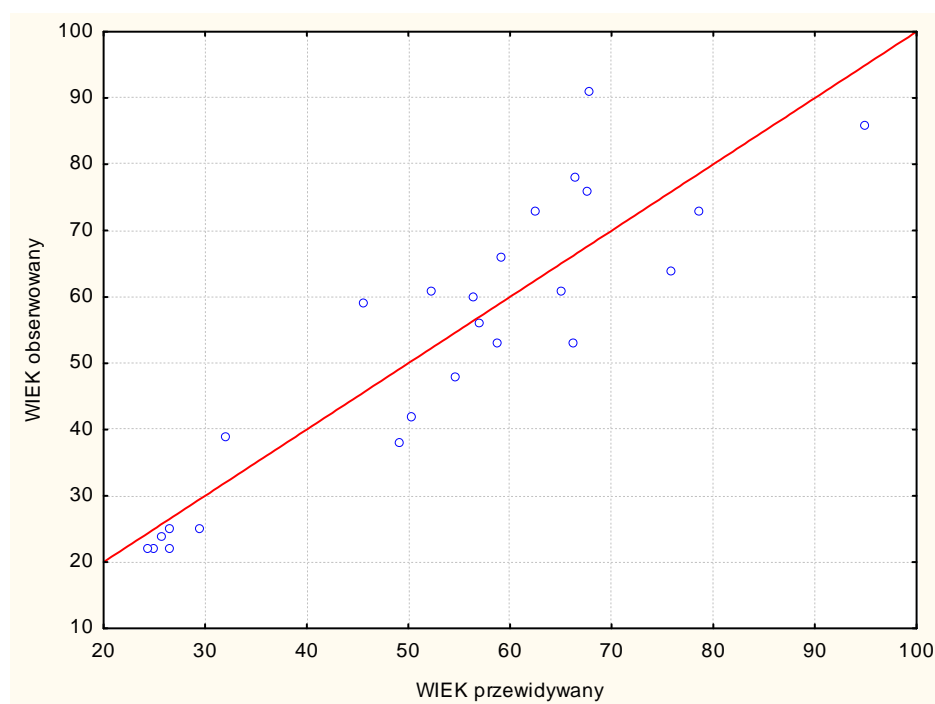
$$R^2=81,71\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=80,92\%$$

**Tab. 21.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności % KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy kobiet

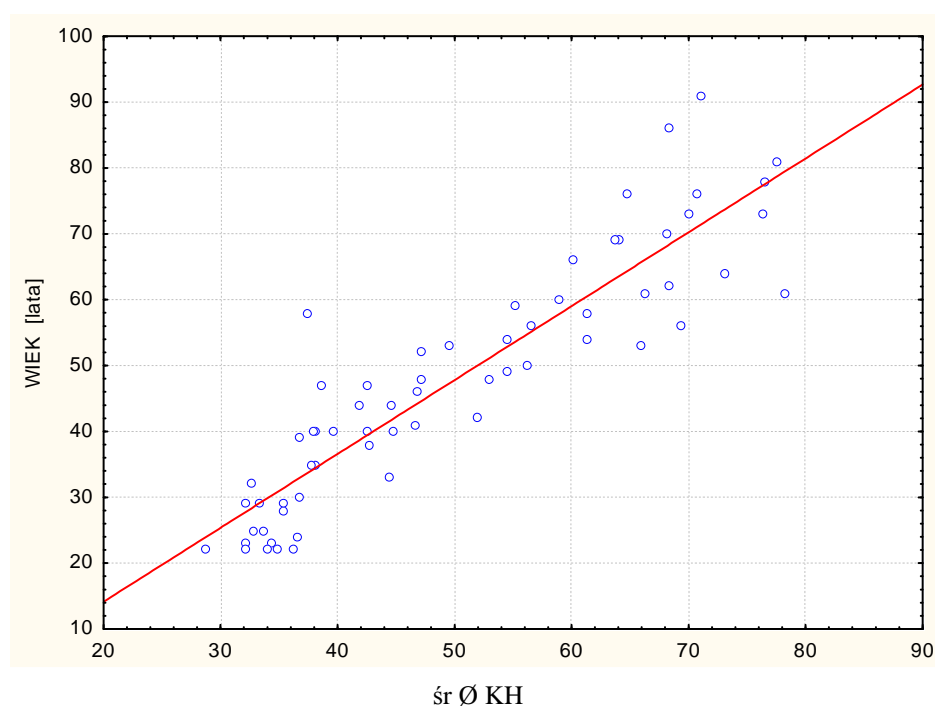
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 24,3                  | -13,1  | -1,471                              | -1,412                | 1,8589                                  | 0,0007                 | 0,0002          |
| Maksim. | 91,0                | 94,8                  | 23,20  | 2,191                               | 2,497                 | 4,5520                                  | 4,8010                 | 0,2349          |
| Średnia | 52,6                | 52,6                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 2,5391                                  | 0,9600                 | 0,0392          |
| Mediana | 56,0                | 56,4                  | -2,39  | 0,195                               | -0,258                | 2,3042                                  | 0,5162                 | 0,0175          |

**Ryc. 23.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej, predyktor % KH >70 $\mu$ m dla grupy kobiet.



**6.3.1d** Predyktor - średnia średnica kanałów Haversa, ( $\mu\text{m}$ ) dla grupy ogólnej - oznaczenie w tabelach i rycinach jako  $\text{sr } \emptyset \text{ KH}$

**Ryc. 24.** Wykres rozrzutu parametru  $\text{sr } \emptyset \text{ KH}$  i wieku dla grupy ogólnej



**Tab. 22.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność  $\text{sr } \emptyset \text{ KH}$  i wieku dla grupy ogólnej

|                     | Wartość    |
|---------------------|------------|
| R wielorakie        | 0,9073     |
| Wielorakie $R^2$    | 0,8232     |
| Skorygowane $R^2$   | 0,8204     |
| p                   | 5,1397E-25 |
| Błąd std. estymacji | 7,71       |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

| N=64                              | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|-----------------------------------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny                          |  |                    | -8,29161                      | 3,440612                 | -2,40992         | 0,018937 |
| $\text{sr } \emptyset \text{ KH}$ | 0,907346                               | 0,053389           | 1,12180                       | 0,066007                 | 16,99498         | 0,000001 |

$$\text{wiek} = -8,29 + 1,1218 * X \pm 7,7$$

$$R = 0,9073$$

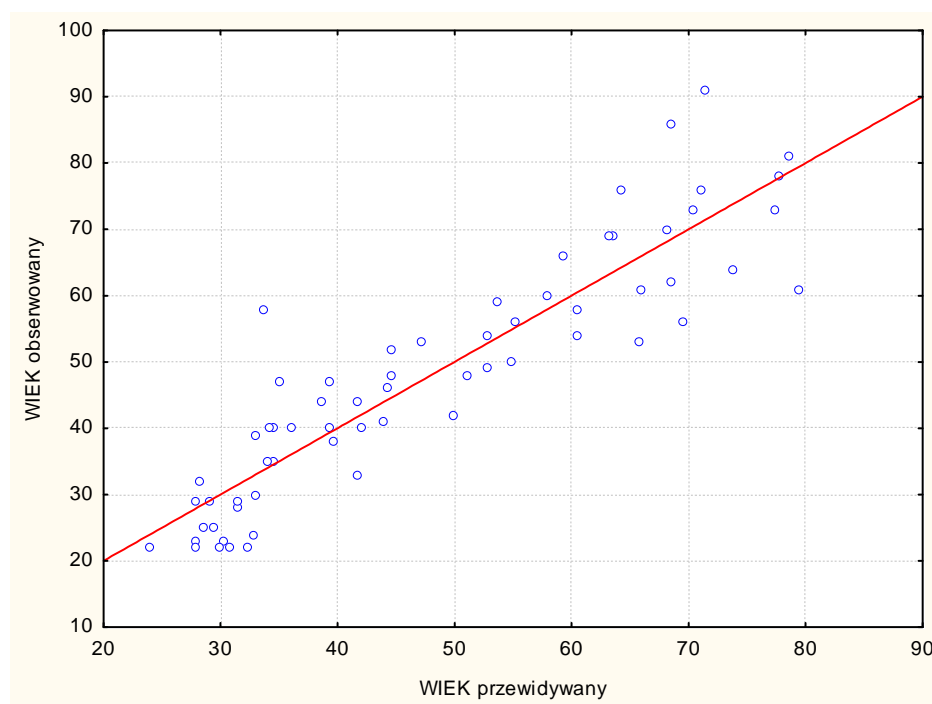
$$R^2 = 82,33\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2 = 82,04\%$$

**Tab. 23.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności  $\bar{\sigma}$  KH i wieku dla grupy ogólnej

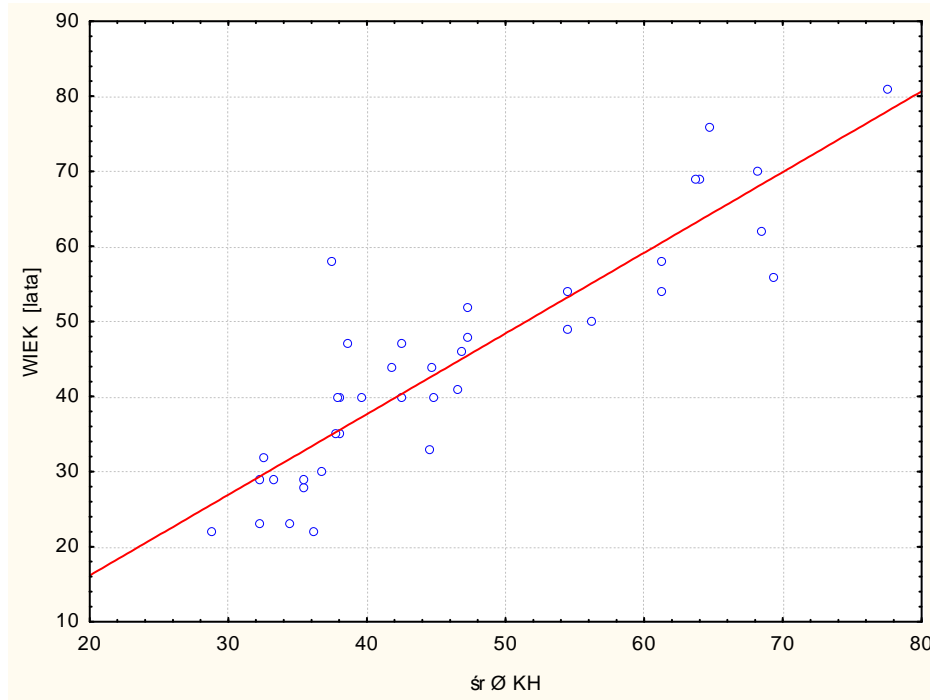
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 24,0                  | -18,43 | -1,44428                            | -2,39228              | 0,9638                                  | 0,0013                 | 0,000001        |
| Maksim. | 91,0                | 79,4                  | 24,33  | 1,91472                             | 3,15847               | 2,0934                                  | 3,6661                 | 0,2462          |
| Średnia | 47,8                | 47,8                  | 0,0    | 0,00000                             | 0,00000               | 1,3323                                  | 0,9843                 | 0,0195          |
| Mediana | 47,0                | 44,1                  | 0,4566 | -0,22715                            | 0,05926               | 1,3050                                  | 0,8228                 | 0,0057          |

**Ryc. 25.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor  $\bar{\sigma}$  KH.



Predyktor - średnia średnica kanałów Haversa dla grupy mężczyzn.

Ryc. 26. Wykres rozrzutu parametru  $\bar{\text{sr}} \text{Ø KH}$  i wieku dla grupy mężczyzn



Tab. 24. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność  $\bar{\text{sr}} \text{Ø KH}$  i wieku dla grupy mężczyzn

|                     | Wartość     |
|---------------------|-------------|
| R wielorakie        | 0,8959      |
| Wielorakie $R^2$    | 0,8026      |
| Skorygowane $R^2$   | 0,7973      |
| p                   | 1,31971E-14 |
| Błąd std. estymacji | 6,93        |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

| N=39                          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|-------------------------------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny                      |  |                    | -5,32865                      | 4,229677                 | -1,25983         | 0,215621 |
| $\bar{\text{sr}} \text{Ø KH}$ | 0,895926                               | 0,073027           | 1,07481                       | 0,087607                 | 12,26846         | 0,000000 |

$$\text{wiek} = -5,32 + 1,0748 * X \pm 6,9$$

$$R=0,8959$$

$$R^2=80,27\%$$

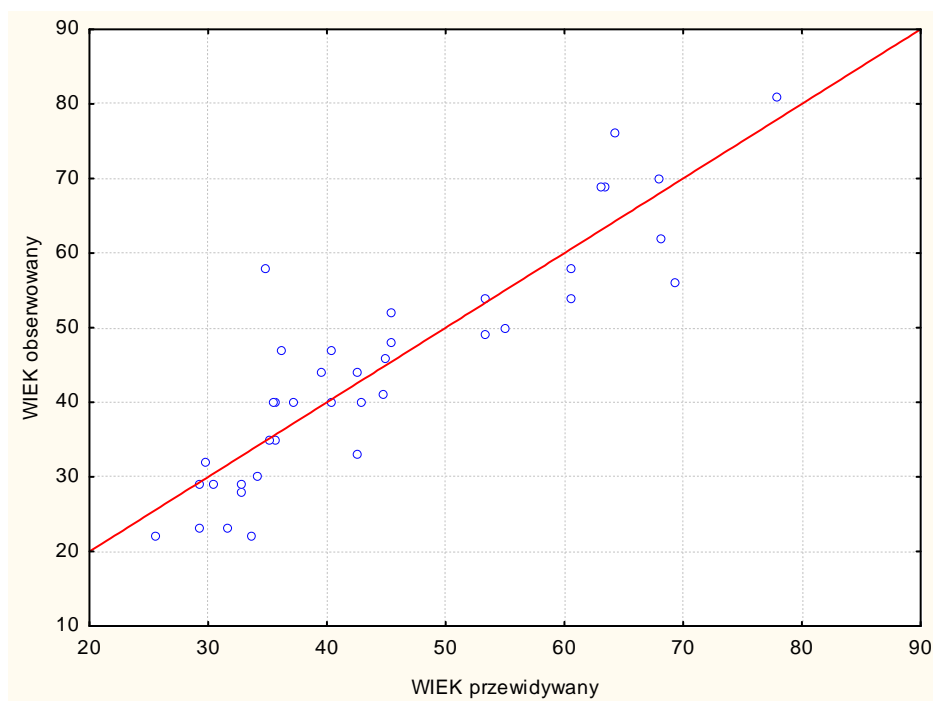
$$\text{Skoryg. } R^2=79,73\%$$



**Tab. 25.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności  $\bar{x}$  KH i wieku dla grupy mężczyzn

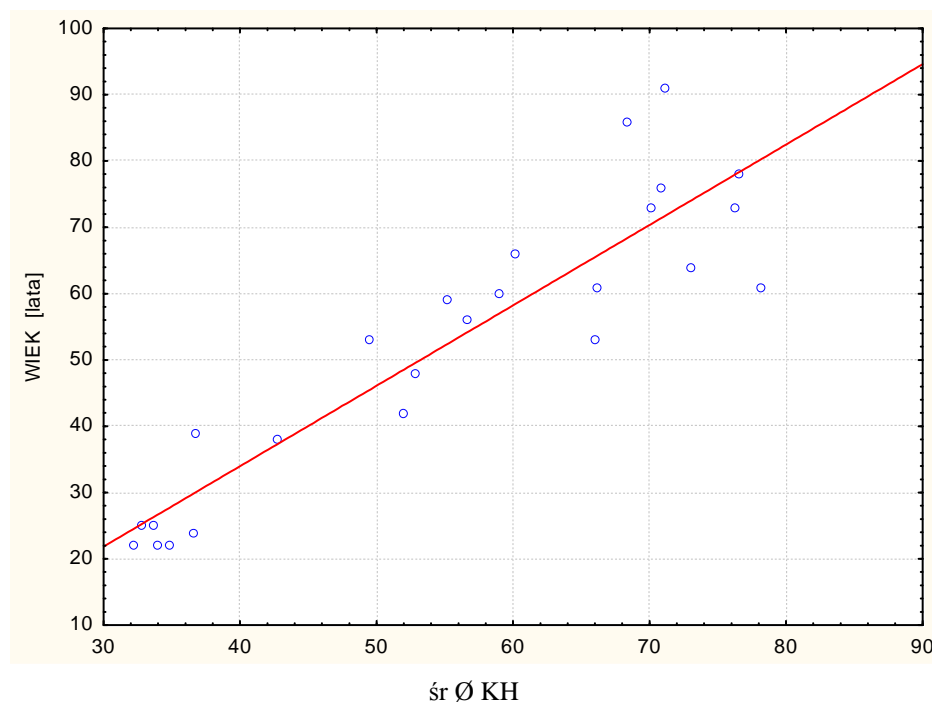
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 25,6                  | -13,26 | -1,385                              | -1,913                | 1,1101                                  | 0,000001               | 0,00002         |
| Maksim. | 81,0                | 77,9                  | 23,13  | 2,407                               | 3,336                 | 2,9269                                  | 5,7981                 | 0,2504          |
| Średnia | 44,7                | 44,7                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,5193                                  | 0,9743                 | 0,0288          |
| Mediana | 44,0                | 40,3                  | -0,28  | -0,318                              | -0,040                | 1,3934                                  | 0,5606                 | 0,0082          |

**Ryc. 27.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej, predyktor  $\bar{x}$  KH dla grupy mężczyzn



Predyktor - średnia średnica kanałów Haversa dla grupy kobiet.

**Ryc. 28.** Wykres rozrzutu parametru  $\bar{\text{sr}} \text{Ø KH}$  i wieku dla grupy kobiet



**Tab. 26.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność  $\bar{\text{sr}} \text{Ø KH}$  i wieku dla grupy kobiet

|                     | Wartość      |
|---------------------|--------------|
| R wielorakie        | 0,9145       |
| Wielorakie $R^2$    | 0,8362       |
| Skorygowane $R^2$   | 0,8291       |
| p                   | 0,0000000001 |
| Błąd std. estymacji | 8,79         |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

| N=25                          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|-------------------------------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny                      |  |                    | -14,5375                      | 6,446902                 | -2,25496         | 0,033958 |
| $\bar{\text{sr}} \text{Ø KH}$ | 0,914459                               | 0,084381           | 1,2127                        | 0,111902                 | 10,83719         | 0,000000 |

$$\text{wiek} = -14,54 + 1,2127 * X \pm 8,8$$

$$R=0,9145$$

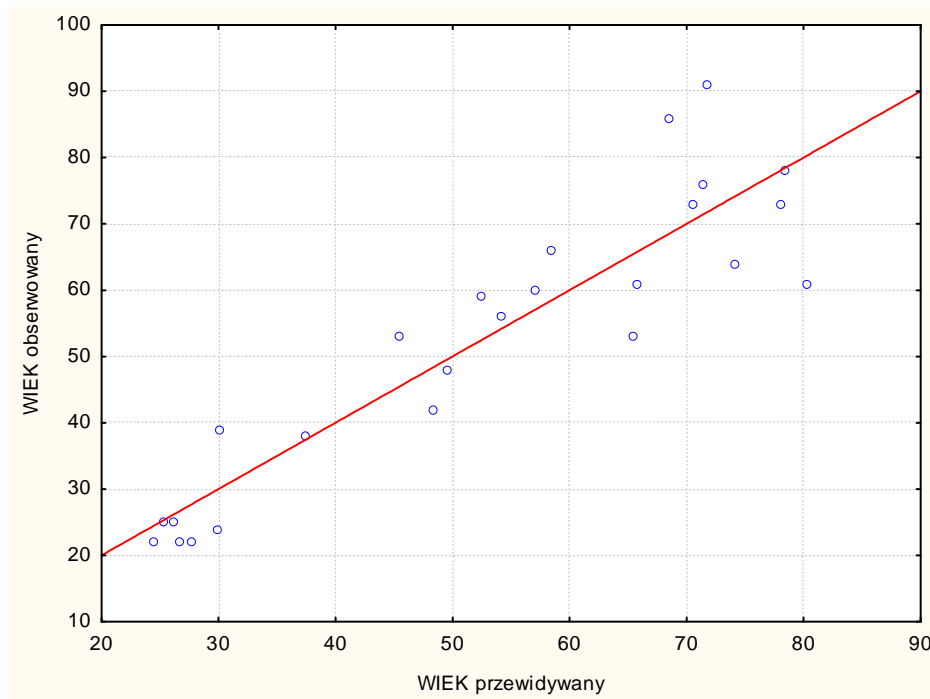
$$R^2=83,62\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=82,91\%$$

**Tab. 27.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności  $\bar{\sigma}$  KH i wieku dla grupy kobiet

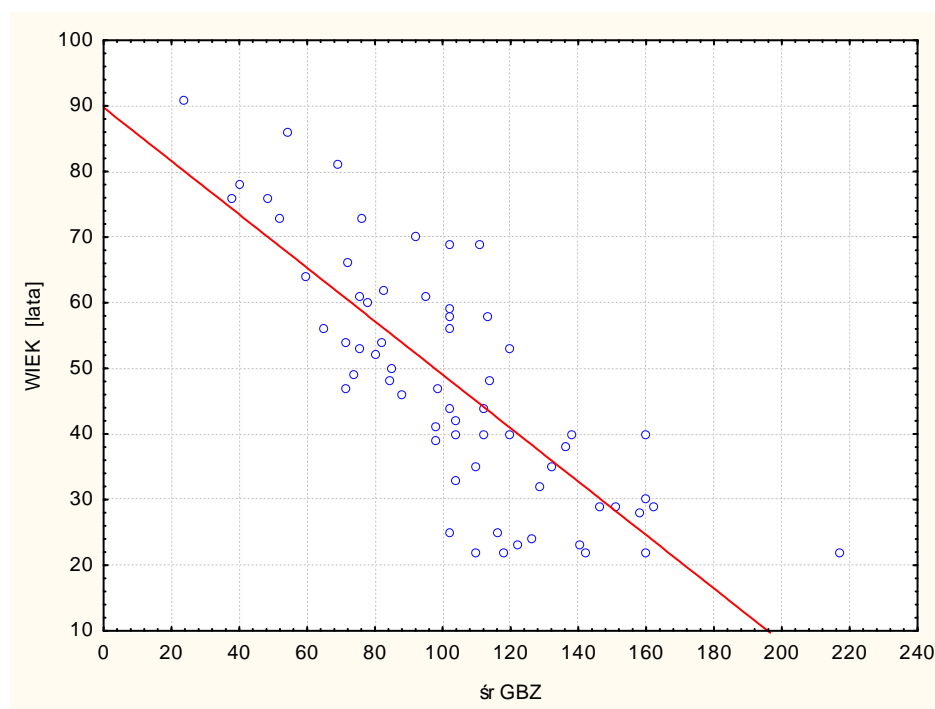
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 24,5                  | -19,29 | -1,448                              | -2,194                | 1,7585                                  | 0,0002                 | 0,00006         |
| Maksim. | 91,0                | 80,3                  | 19,31  | 1,419                               | 2,196                 | 3,1381                                  | 2,0978                 | 0,3892          |
| Średnia | 52,6                | 52,7                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 2,4381                                  | 0,9600                 | 0,0467          |
| Mediana | 56,0                | 54,1                  | -0,35  | 0,073                               | -0,040                | 2,4598                                  | 0,9187                 | 0,0130          |

**Ryc. 29.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor  $\bar{\sigma}$  KH.



**6.3.1e** Predyktor - średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych, ( $\mu\text{m}$ ), dla grupy ogólnej - oznaczenie w tabelach i rycinach jako  $\bar{s}$ r GBZ

**Ryc. 30.** Wykres rozrzutu parametru  $\bar{s}$ r GBZ i wieku dla grupy ogólnej



**Tab. 28.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność  $\bar{s}$ r GBZ i wieku dla grupy ogólnej

|                     | Wartość    |
|---------------------|------------|
| R wielorakie        | 0,7916     |
| Wielorakie $R^2$    | 0,6266     |
| Skorygowane $R^2$   | 0,6206     |
| p                   | 0,00000001 |
| Błąd std. estymacji | 11,2000    |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

|                 | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|-----------------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| N=64            |  |                    |                               |                          |                  |          |
| W. wolny        |  |                    | 89,75627                      | 4,340950                 | 20,6766          | 0,000001 |
| $\bar{s}$ r GBZ | -0,791583                              | 0,077605           | -0,40719                      | 0,039920                 | -10,2002         | 0,000001 |

$$\text{wiek} = 89,76 - 0,4072 * X \pm 11,2$$

$$R = 0,7916$$

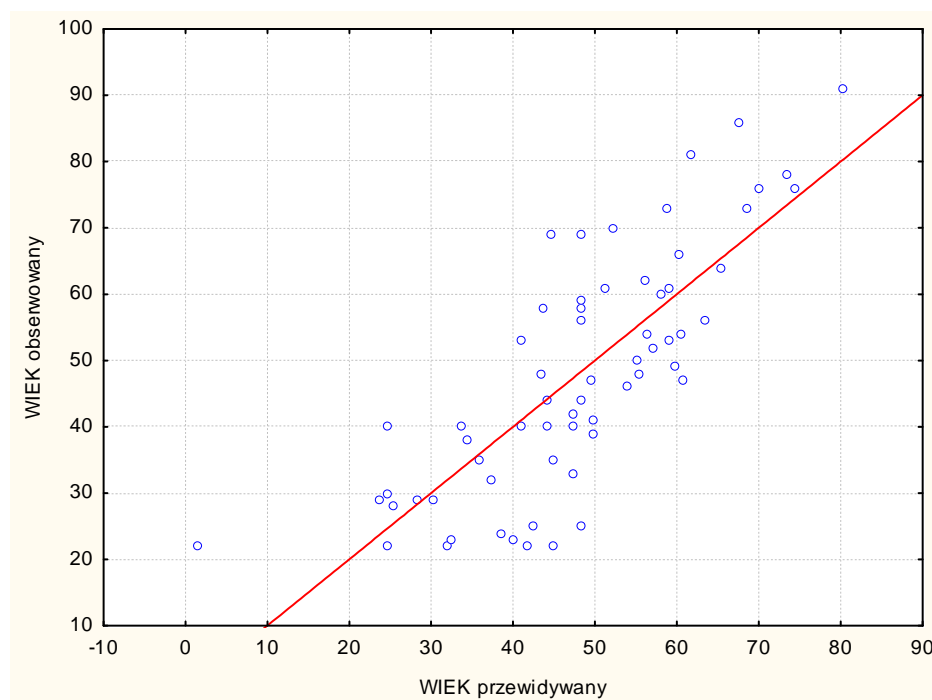
$$R^2 = 62,66\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2 = 62,06\%$$

**Tab. 29.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności śr GBZ i wieku dla grupy ogólnej

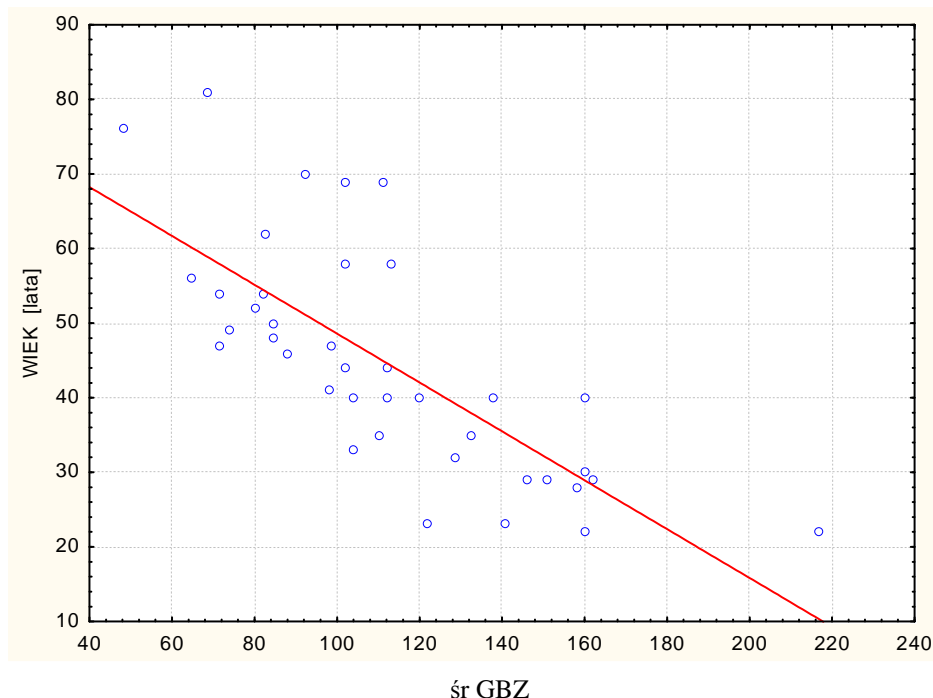
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 1,39                  | -23,2  | -3,227                              | -2,073                | 1,400                                   | 0,0007                 | 0,000002        |
| Maksim. | 91,0                | 80,1                  | 24,4   | 2,244                               | 2,182                 | 4,763                                   | 10,413                 | 0,4562          |
| Średnia | 47,8                | 47,8                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,885                                   | 0,984                  | 0,0188          |
| Mediana | 47,0                | 48,2                  | -0,88  | 0,026                               | -0,079                | 1,672                                   | 0,419                  | 0,0058          |

**Ryc. 31.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor śr GBZ.



Predyktor - średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych dla grupy mężczyzn

**Ryc. 32.** Wykres rozrzutu parametru śr GBZ i wieku dla grupy mężczyzn



**Tab. 30.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność śr GBZ i wieku dla grupy mężczyzn

|                     | Wartość     |
|---------------------|-------------|
| R wielorakie        | 0,7440      |
| Wielorakie $R^2$    | 0,5536      |
| Skorygowane $R^2$   | 0,5415      |
| F(1,37)             | 45,8830     |
| p                   | 0,000000001 |
| Błąd std. estymacji | 10,4283     |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| N=39     |  |                    |                               |                          |                  |           |
| W. wolny |  |                    | 81,35173                      | 5,656549                 | 14,38187         | 0,0000001 |
| śr GBZ   | -0,744035                              | 0,109842           | -0,32761                      | 0,048365                 | -6,77370         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = 81,35 - 0,32761 * X \pm 10,4$$

$$R = 0,7440$$

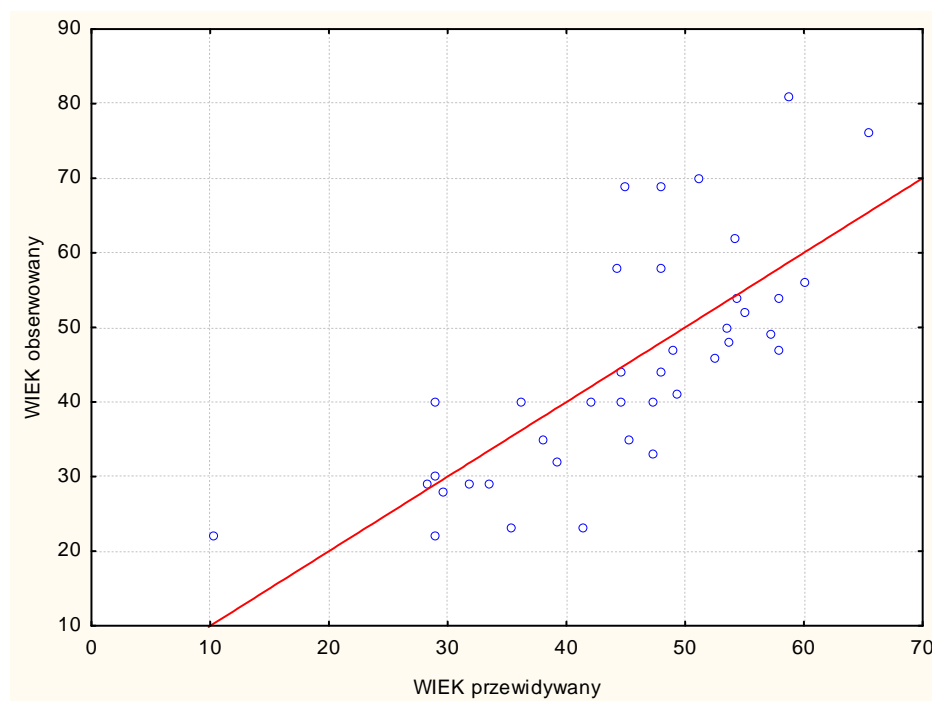
$$R^2 = 55,36\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2 = 54,15\%$$

**Tab. 31.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności  $\bar{x}$  GBZ i wieku dla grupy mężczyzn

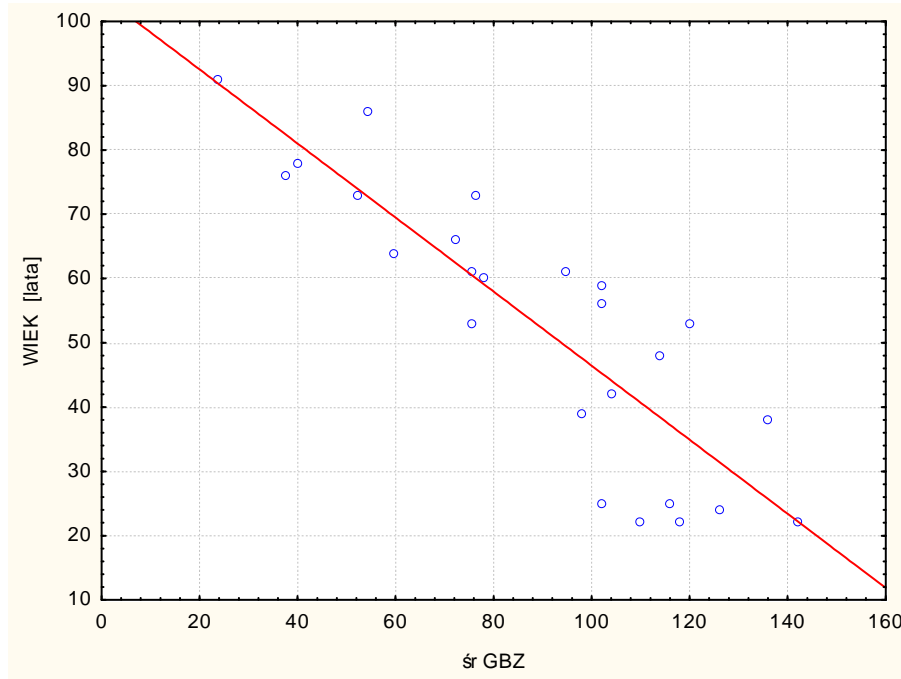
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta   | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|----------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 10,2                  | -18,3835 | -3,00924                            | -1,76285              | 1,669906                                | 0,000054               | 0,000040        |
| Maksim. | 81,0                | 65,5                  | 24,0128  | 1,81383                             | 2,30266               | 5,357582                                | 9,055534               | 0,308689        |
| Średnia | 44,7                | 44,7                  | -0,0000  | -0,00000                            | -0,00000              | 2,259081                                | 0,974359               | 0,028503        |
| Mediana | 44,0                | 47,2                  | -3,0091  | 0,22139                             | -0,28856              | 2,118149                                | 0,593373               | 0,007978        |

**Ryc. 33.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor  $\bar{x}$  GBZ



Predyktor - średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych dla grupy kobiet

**Ryc. 34.** Wykres rozrzutu parametru śr GBZ i wieku w grupie kobiet



**Tab. 32.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność śr GBZ i wieku dla grupy kobiet

|                     | Wartość    |
|---------------------|------------|
| R wielorakie        | 0,8647     |
| Wielorakie $R^2$    | 0,7477     |
| Skorygowane $R^2$   | 0,7367     |
| p                   | 0,00000001 |
| Błąd std. estymacji | 10,9124    |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| N=25     |  |                    |                               |                          |                  |          |
| W. wolny |  |                    | 104,0414                      | 6,592834                 | 15,78098         | 0,000001 |
| śr GBZ   | -0,86469                               | 0,104736           | -0,5759                       | 0,069754                 | -8,25597         | 0,000001 |

$$\text{wiek} = 104,04 - 0,576 * X \pm 10,9$$

$$R=0,8647$$

$$R^2=74,77\%$$

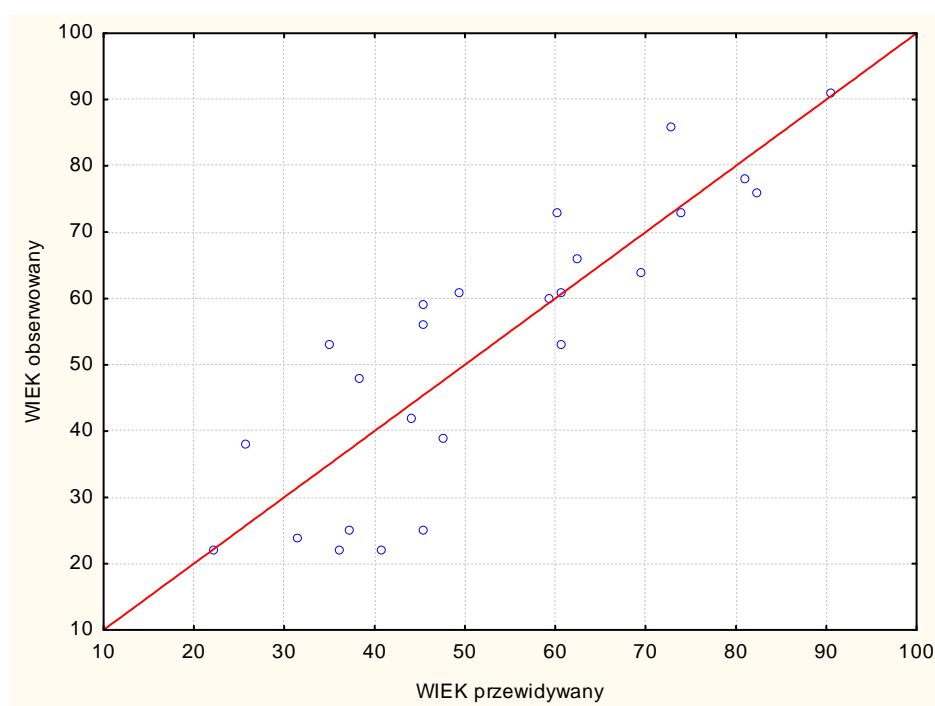
$$\text{Skoryg. } R^2=73,67\%$$



**Tab. 33.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności śr GBZ i wieku dla grupy kobiet

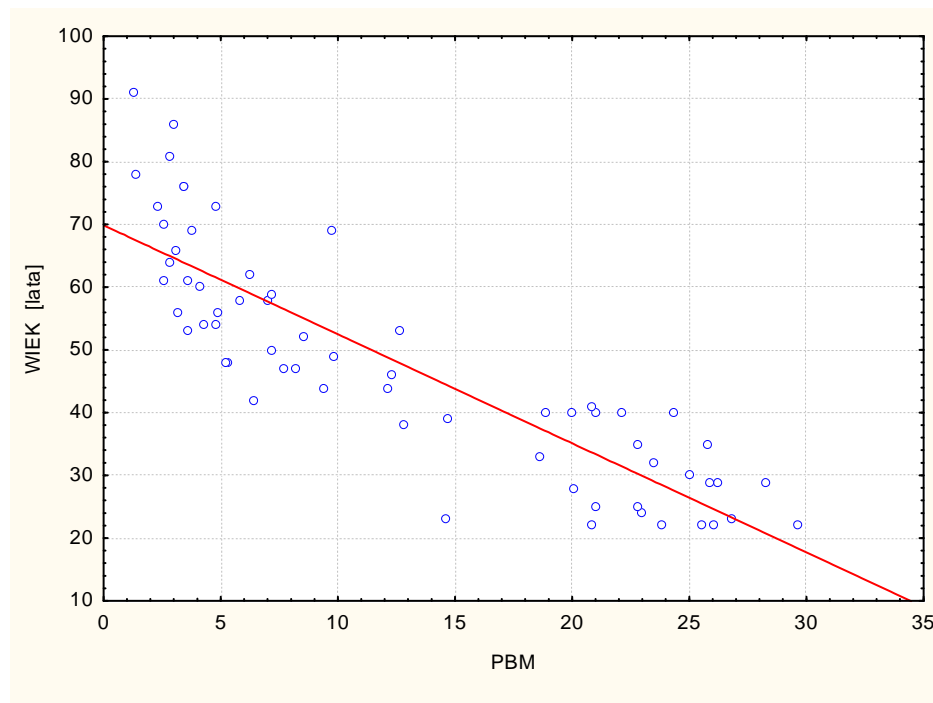
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 22,2                  | -20,3  | -1,65389                            | -1,86032              | 2,2167                                  | 0,03035                | 0,00004         |
| Maksim. | 91,0                | 90,4                  | 18,06  | 2,05385                             | 1,65551               | 5,0688                                  | 4,21831                | 0,12724         |
| Średnia | 52,7                | 52,7                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 2,9908                                  | 0,96000                | 0,03553         |
| Mediana | 56,0                | 47,6                  | -0,26  | -0,27601                            | -0,02428              | 2,7855                                  | 0,60382                | 0,02503         |

**Ryc. 35.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor śr GBZ.



**6.3.1f** Predyktor - powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe (%), dla grupy ogólnej - oznaczenie w tabelach i rycinach jako PBM

**Ryc. 36.** Wykres rozrzutu parametru PBM i wieku dla grupy ogólnej



**Tab. 34.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność PBM i wieku dla grupy ogólnej

|                            | Wartość  |
|----------------------------|----------|
| R wielorakie               | 0,8679   |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,7533   |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,7493   |
| p                          | 1,66E-20 |
| Błąd std. estymacji        | 9,10     |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| N=64     |  |                    |                               |                          |                  |           |
| W. wolny |  |                    | 69,87002                      | 1,964144                 | 35,5728          | 0,0000001 |
| PBM      | -0,867921                              | 0,063081           | -1,73799                      | 0,126318                 | -13,7588         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = 69,87 - 1,7378 * X \pm 9,1$$

$$R = 0,8679$$

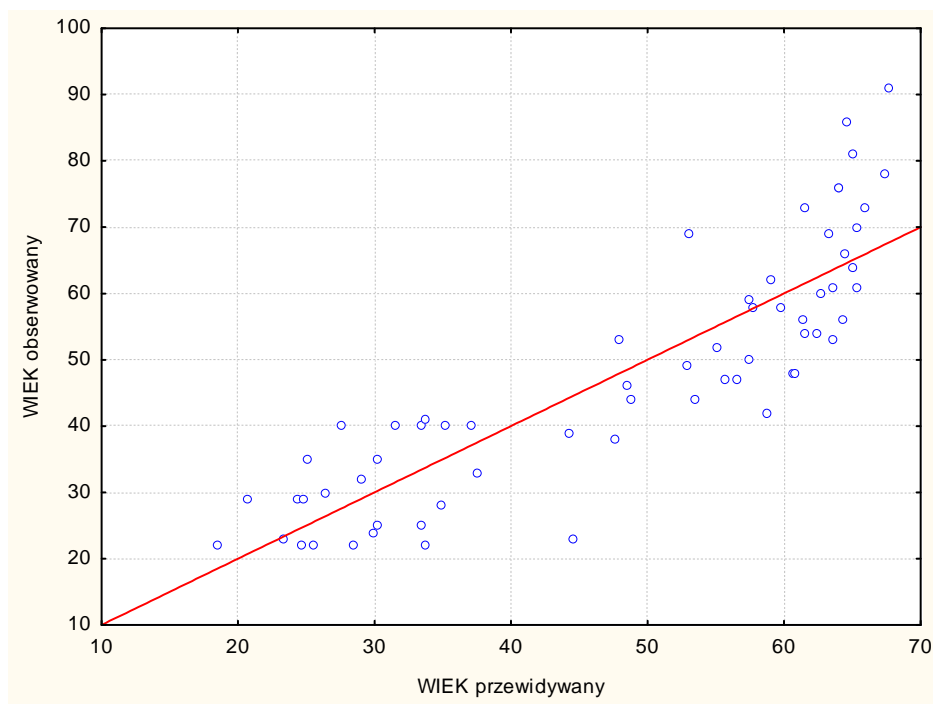
$$R^2 = 75,33\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2 = 74,93\%$$

**Tab. 35.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności PBM i wieku dla grupy ogólnej

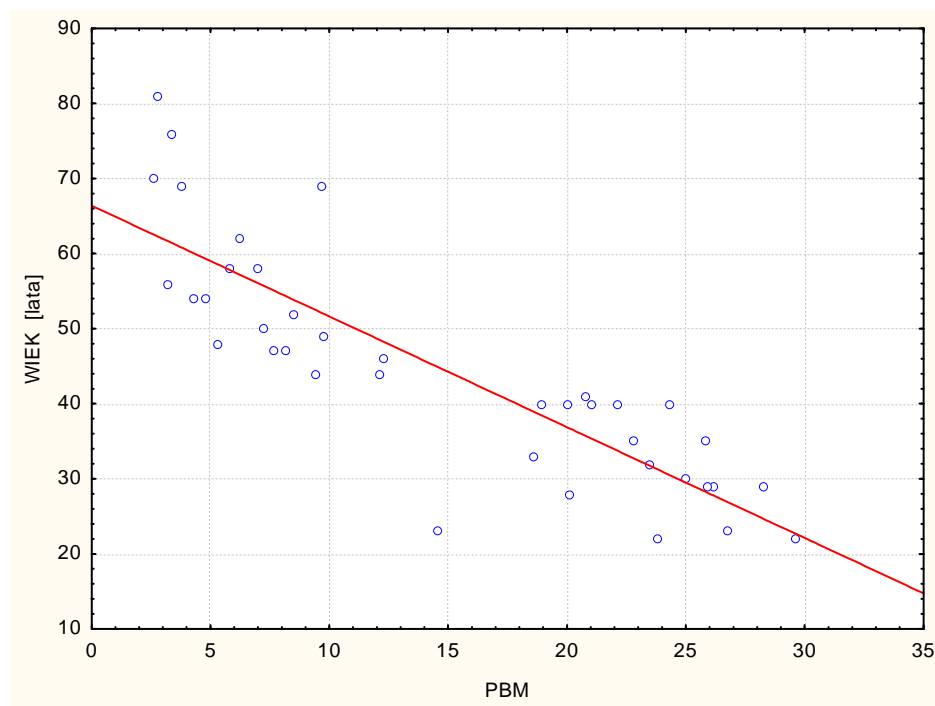
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 18,4                  | -21,5  | -1,864                              | -2,361                | 1,1380                                  | 0,00006                | 0,00001         |
| Maksim. | 91,0                | 67,6                  | 23,38  | 1,252                               | 2,569                 | 2,4221                                  | 3,4749                 | 0,1452          |
| Średnia | 47,8                | 47,8                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,5834                                  | 0,9843                 | 0,0155          |
| Mediana | 47,0                | 53,3                  | -1,39  | 0,343                               | 0,153                 | 1,5622                                  | 0,8709                 | 0,0077          |

**Ryc. 37.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor PBM.



Predyktor - powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe dla grupy mężczyzn

**Ryc. 38.** Wykres rozrzutu parametru PBM i wieku dla grupy mężczyzn



**Tab.. 36.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność PBM i wieku dla grupy mężczyzn

|                            | Wartość      |
|----------------------------|--------------|
| R wielorakie               | 0,8552       |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,7313       |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,7241       |
| p                          | 0,0000000001 |
| Błąd std. estymacji        | 8,09         |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| N=39     |  |                    |                               |                          |                  |           |
| W. wolny |  |                    | 66,39208                      | 2,516209                 | 26,3858          | 0,0000001 |
| PBM      | -0,855182                              | 0,085213           | -1,47552                      | 0,147025                 | -10,0359         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = 66,39 - 1,4755 * X \pm 8,1$$

$$R = 0,8552$$

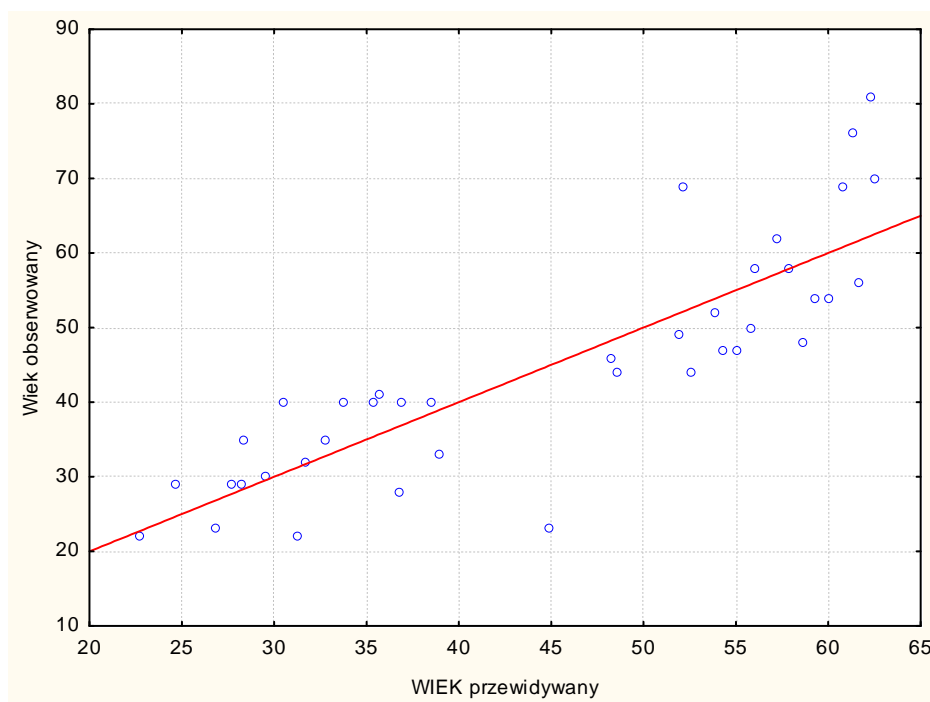
$$R^2 = 73,13\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2 = 72,40\%$$

**Tab. 37.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności PBM i wieku dla grupy mężczyzn

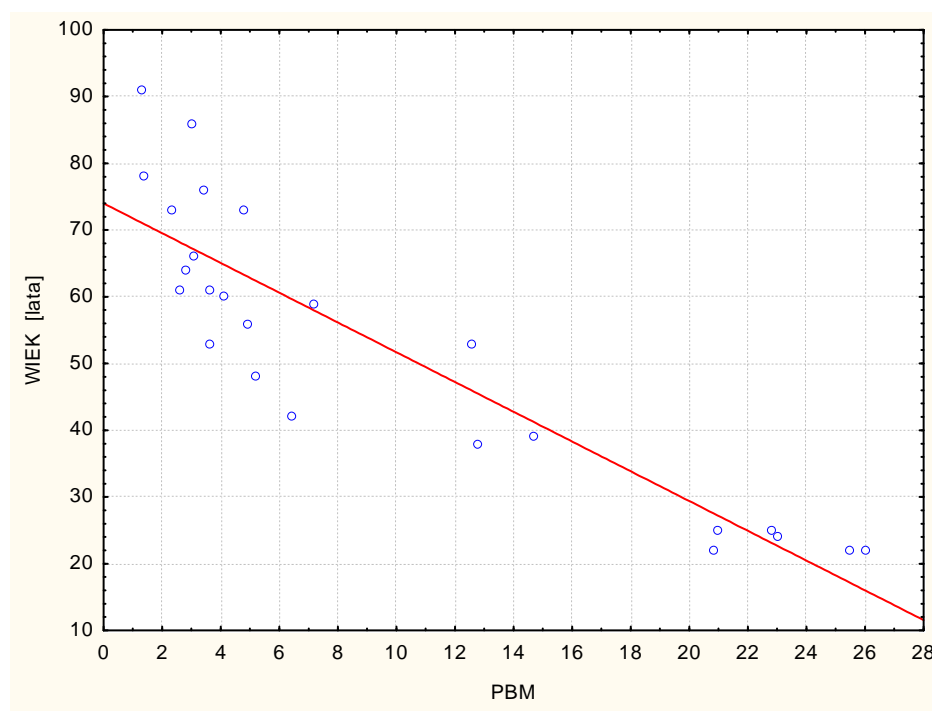
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta  | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|---------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 22,7                  | -21,85  | -1,67240                            | -2,70080              | 1,295482                                | 0,000065               | 0,000012        |
| Maksim. | 81,0                | 62,6                  | 18,7394 | 1,35240                             | 2,31636               | 2,548601                                | 2,796922               | 0,224980        |
| Średnia | 44,7                | 44,7                  | 0,0000  | 0,00000                             | 0,00000               | 1,806259                                | 0,974359               | 0,025735        |
| Mediana | 44,0                | 48,2                  | 0,2826  | 0,26571                             | 0,03493               | 1,797105                                | 0,900774               | 0,012262        |

**Ryc. 39.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor PBM.



Predyktor - powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe dla grupy kobiet

**Ryc. 40.** Wykres rozrzutu parametru PMB i wieku dla grupy kobiet



**Tab. 38.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność PMB i wieku dla grupy kobiet

|                            | Wartość      |
|----------------------------|--------------|
| R wielorakie               | 0,8997       |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,8095       |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,8012       |
| p                          | 0,0000000009 |
| Błąd std. estymacji        | 9,48         |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| N=25     |  |                    |                               |                          |                  |           |
| W. wolny |  |                    | 73,98615                      | 2,870240                 | 25,77699         | 0,0000001 |
| PMB      | -0,899755                              | 0,090995           | -2,22961                      | 0,225486                 | -9,88800         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = 73,99 - 2,2296 * X \pm 9,5$$

$$R = 0,8998$$

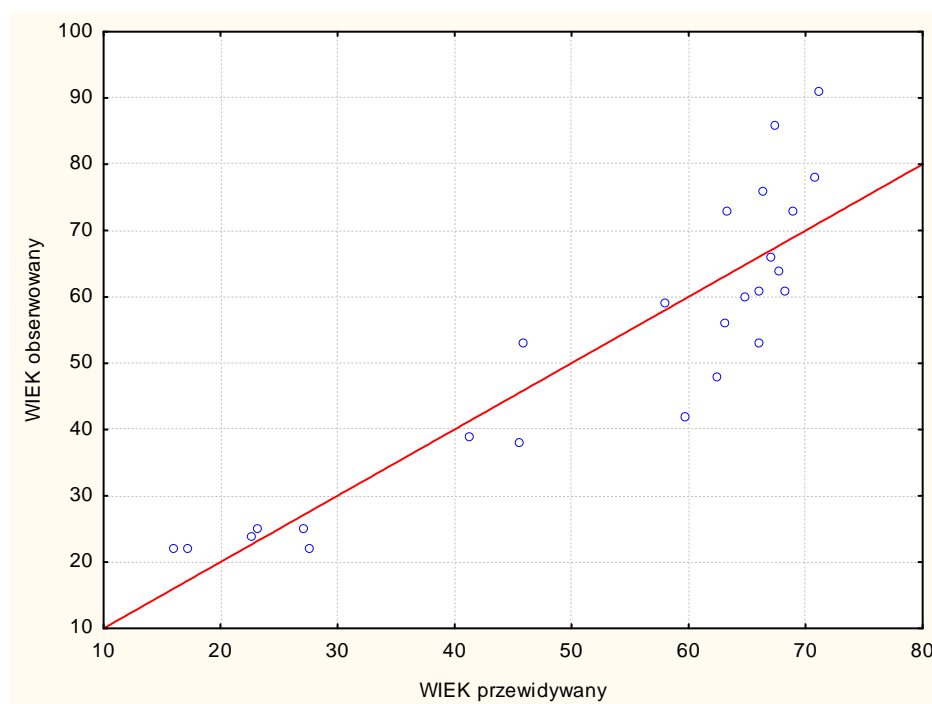
$$R^2 = 80,96\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2 = 80,13\%$$

**Tab. 39.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności PBM i wieku dla grupy kobiet

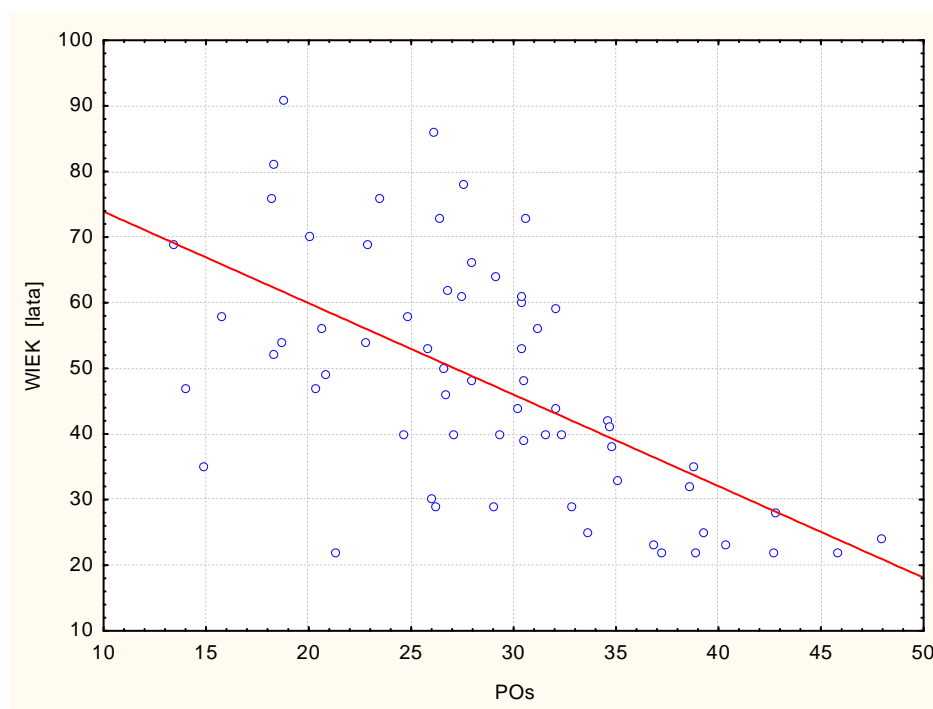
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 16,0                  | -17,71 | -1,915                              | -1,868                | 1,9691                                  | 0,0753                 | 0,0003          |
| Maksim. | 91,0                | 71,1                  | 19,91  | 0,961                               | 2,100                 | 4,1645                                  | 3,6710                 | 0,2040          |
| Średnia | 52,7                | 52,7                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 2,6082                                  | 0,9600                 | 0,0354          |
| Mediana | 56,0                | 63,1                  | -1,07  | 0,542                               | -0,113                | 2,3905                                  | 0,5658                 | 0,0161          |

**Ryc. 41.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor PBM.



**6.3.1g** Predyktor - powierzchnia zajmowana przez osteony w polu widzenia (%), dla grupy ogólnej - oznaczenie w tabelach i rycinach jako POs

**Ryc. 42.** Wykres rozrzutu parametru POs i wieku dla grupy ogólnej



**Tab. 40.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność POs i wieku dla grupy ogólnej

|                            | Wartość   |
|----------------------------|-----------|
| R wielorakie               | 0,5995    |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,3594    |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,3491    |
| p                          | 1,656E-07 |
| Błąd std. estymacji        | 14,67     |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| N=64     |  |                    |                               |                          |                  |           |
| W. wolny |  |                    | 87,83582                      | 7,024465                 | 12,50427         | 0,0000001 |
| POs      | -0,599496                              | 0,101648           | -1,39451                      | 0,236448                 | -5,89776         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = 87,84 - 1,3945 * X \pm 14,7$$

$$R=0,5995$$

$$R^2=35,94\%$$

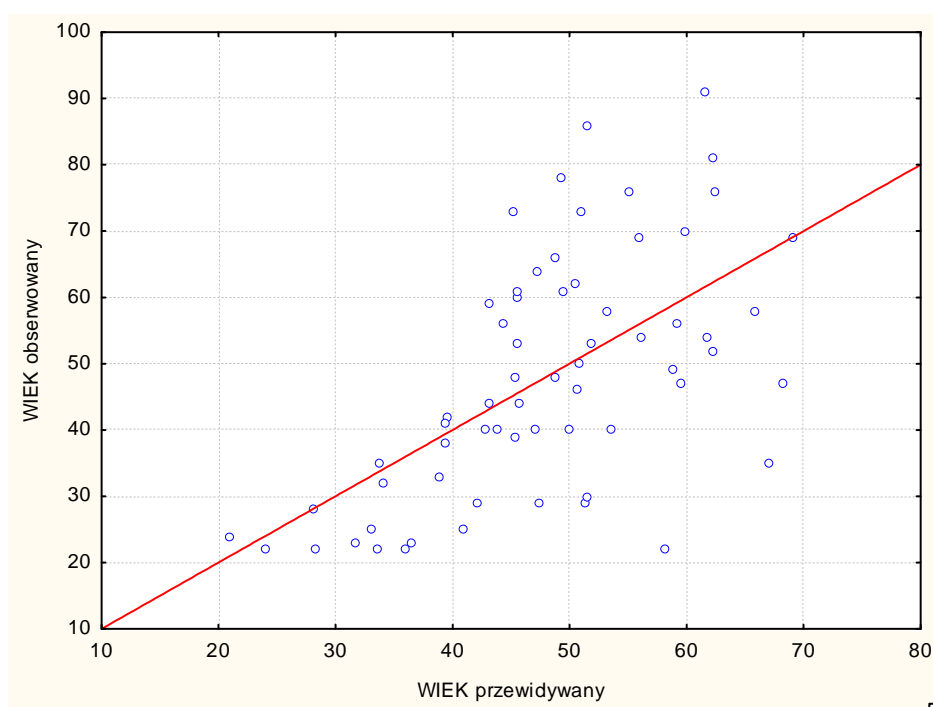
$$\text{Skoryg. } R^2=34,90\%$$



**Tab. 41.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności POs i wieku dla grupy ogólnej

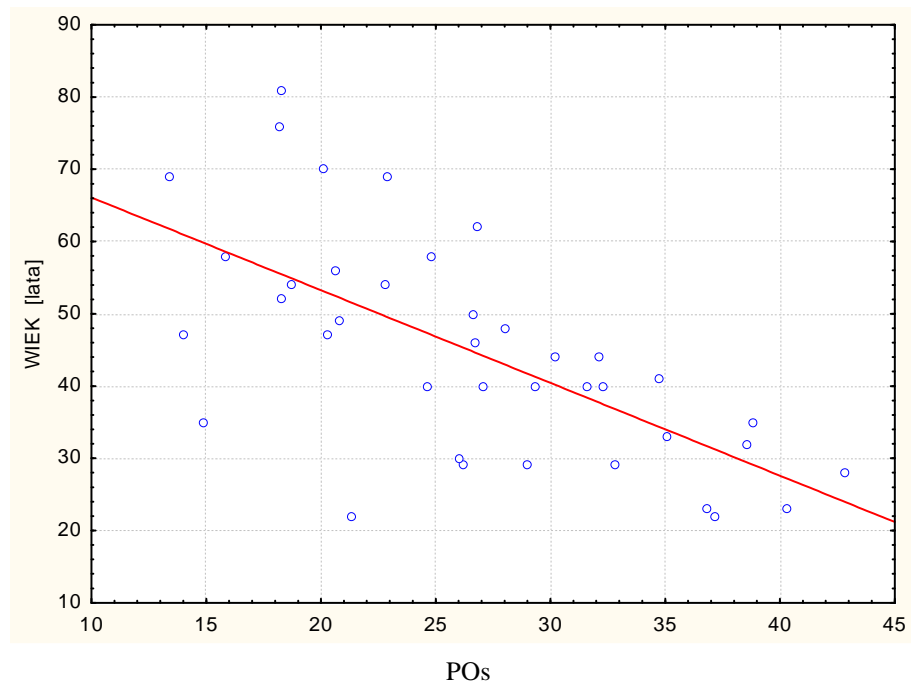
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowa na wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|--------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 20,9                  | -36,13 | -2,471                               | -2,463                | 1,8353                                  | 0,0016                 | 0,000004        |
| Maksim. | 91,0                | 69,1                  | 34,56  | 1,954                                | 2,355                 | 4,9228                                  | 6,1102                 | 0,1773          |
| Średnia | 47,8                | 47,8                  | 0,0    | 0,0                                  | 0,0                   | 2,4867                                  | 0,9843                 | 0,0152          |
| Mediana | 47,0                | 48,1                  | -1,51  | 0,022                                | -0,103                | 2,1883                                  | 0,4176                 | 0,0074          |

**Ryc. 43.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor POs.



Predyktor - powierzchnia zajmowana przez osteony w polu widzenia dla grupy mężczyzn

**Ryc. 44.** Wykres rozrzutu parametru POs i wieku dla grupy mężczyzn



**Tab. 42.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność POs i wieku dla grupy mężczyzn

|                            | Wartość   |
|----------------------------|-----------|
| R wielorakie               | 0,6516    |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,4246    |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,4091    |
| p                          | 7,012E-06 |
| Błąd std. estymacji        | 11,84     |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| N=39     |  |                    |                               |                          |                  |           |
| W. wolny |  |                    | 78,92256                      | 6,809848                 | 11,58947         | 0,0000001 |
| POs      | -0,651641                              | 0,124701           | -1,28319                      | 0,245558                 | -5,22562         | 0,000007  |

$$\text{wiek} = 78,92 - 1,2832 * X \pm 11,8$$

$$R=0,6516$$

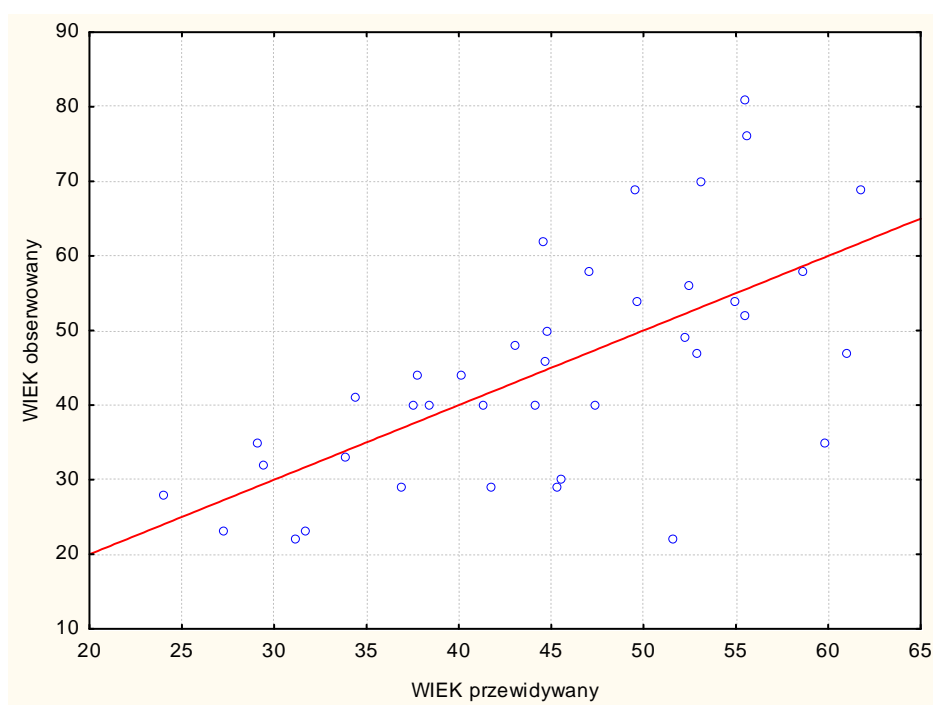
$$R^2=42,46\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=40,90\%$$

**Tab. 43.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności POs i wieku dla grupy mężczyzn

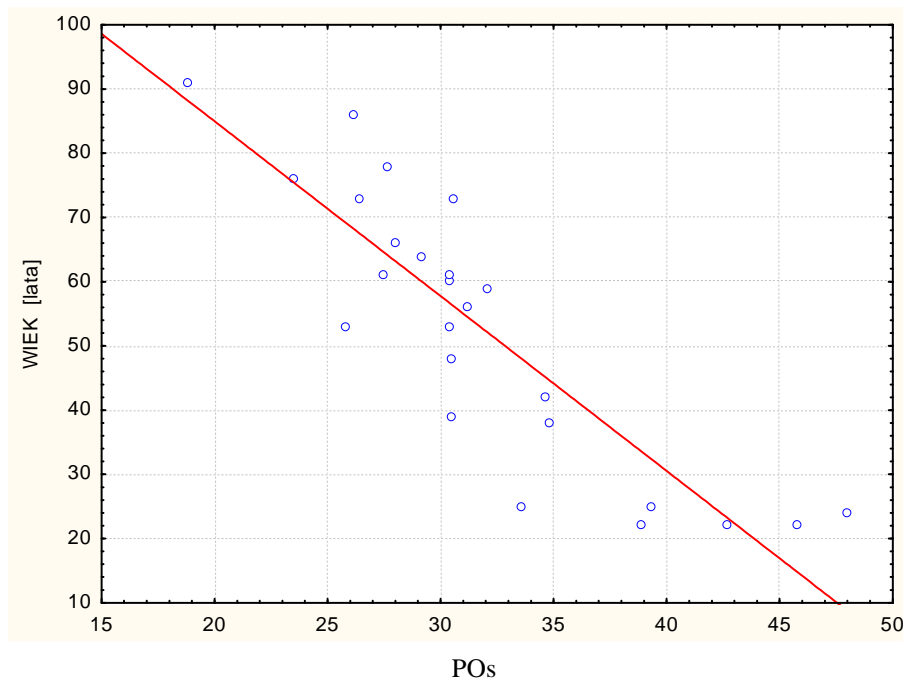
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 24,0                  | -29,6  | -2,066                              | -2,499                | 1,8957                                  | 0,00002                | 0,0001          |
| Maksim. | 81,0                | 61,79                 | 25,5   | 1,692                               | 2,158                 | 4,3987                                  | 4,2713                 | 0,2224          |
| Średnia | 44,7                | 44,79                 | 0,0    | 0,0                                 | -0,0                  | 2,5976                                  | 0,9743                 | 0,0265          |
| Mediana | 44,0                | 44,8                  | 1,33   | 0,004                               | 0,113                 | 2,4063                                  | 0,5955                 | 0,0083          |

**Ryc. 45.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor POs.



Predyktor - powierzchnia zajmowana przez osteony w polu widzenia dla grupy kobiet

**Ryc. 46.** Wykres rozrzutu parametru POs i wieku dla grupy kobiet



**Tab. 44.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność POs i wieku dla grupy kobiet

v

|                            | Wartość   |
|----------------------------|-----------|
| R wielorakie               | 0,8698    |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,7566    |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,7460    |
| p                          | 1,636E-08 |
| Błąd std. estymacji        | 10,72     |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| N=25     |  |                    |                               |                          |                  |           |
| W. wolny |  |                    | 139,4173                      | 10,47931                 | 13,30405         | 0,0000001 |
| POs      | -0,869836                              | 0,102869           | -2,7221                       | 0,32192                  | -8,45579         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = 139,42 - 2,7221 * X \pm 10,7$$

$$R = 0,8698$$

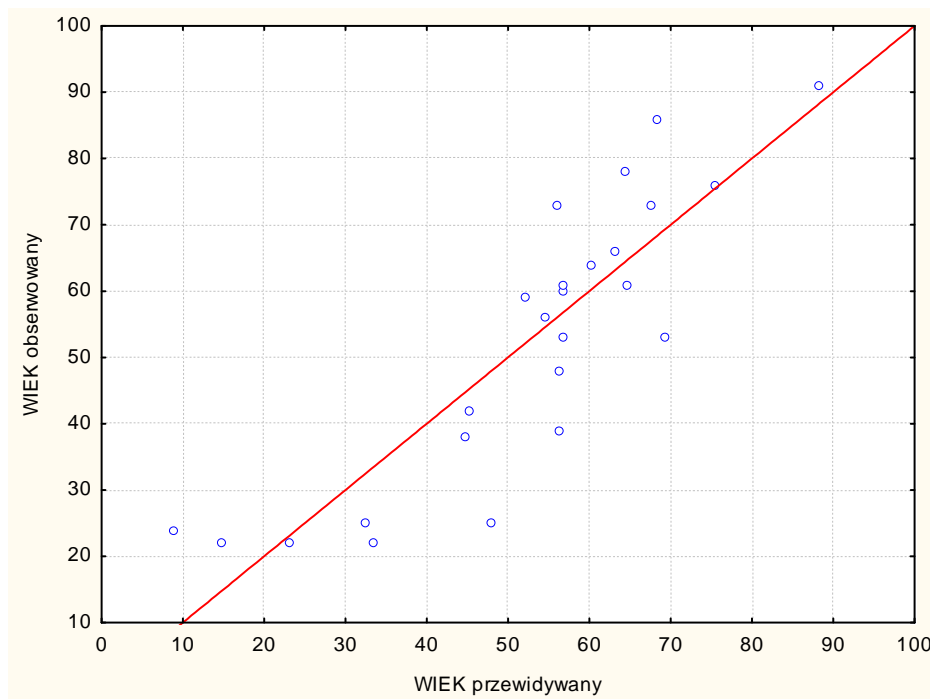
$$R^2 = 75,66\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2 = 74,60\%$$

**Tab. 45.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności POs i wieku dla grupy kobiet

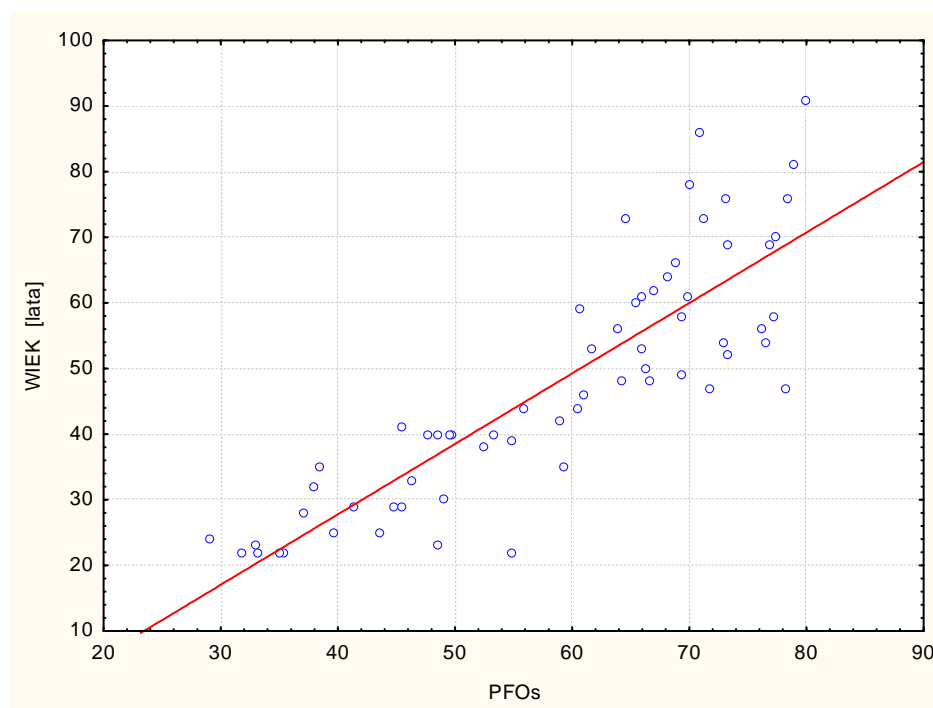
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 8,756                 | -22,9  | -2,374                              | -2,141                | 2,144912                                | 0,001206               | 0,00017         |
| Maksim. | 91,0                | 88,241                | 17,62  | 1,922                               | 1,644                 | 5,6194                                  | 5,6375                 | 0,5288          |
| Średnia | 52,7                | 52,680                | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 2,8764                                  | 0,9600                 | 0,0499          |
| Mediana | 56,0                | 56,392                | 1,51   | 0,201                               | 0,141                 | 2,4783                                  | 0,3232                 | 0,0099          |

**Ryc. 47.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor POs.



**6.3.1h** Predyktor - powierzchnia zajmowana przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach (%), dla grupy ogólnej - oznaczenie w tabelach i rycinach jako PFOs

**Ryc. 48.** Wykres rozrzutu parametru PFOs i wieku dla grupy ogólnej



**Tab. 46.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność PFOs i wieku dla grupy ogólnej

|                            | Wartość   |
|----------------------------|-----------|
| R wielorakie               | 0,8587    |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,7374    |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,7332    |
| p                          | 1,163E-19 |
| Błąd std. estymacji        | 9,39      |

model istotny statystycznie  $p < 0,00001$

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| N=64     |  |                    |                               |                          |                  |           |
| W. wolny |  |                    | -15,157                       | 4,916909                 | -3,08278         | 0,003059  |
| PFOs     | 0,858723                               | 0,06508            | 1,0736                        | 0,081362                 | 13,19490         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = -15,16 + 1,0736 * X \pm 9,4$$

$$R=0,8587$$

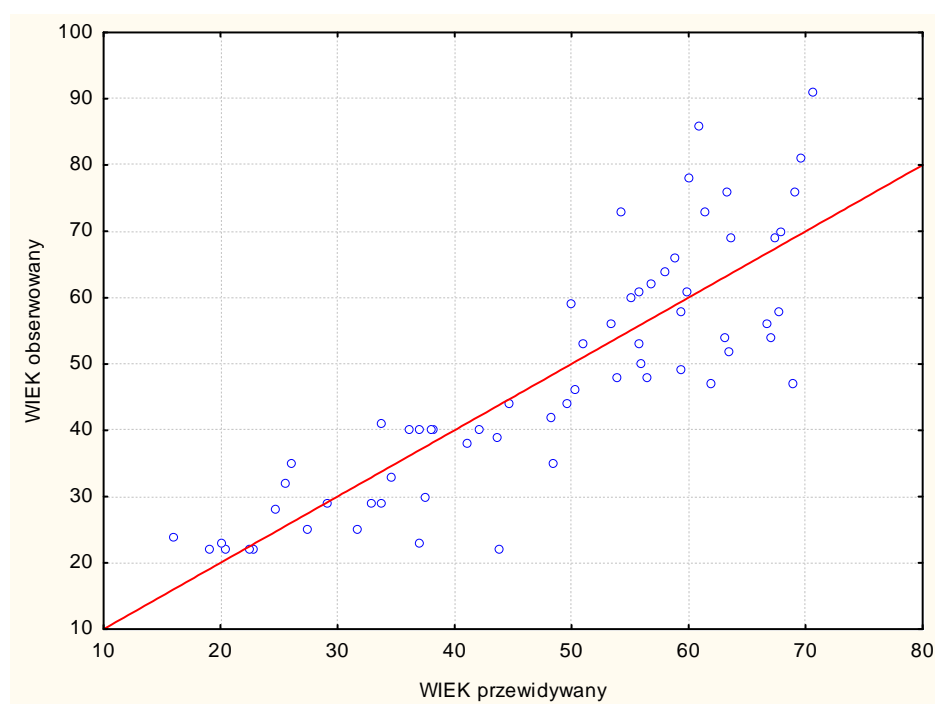
$$R^2=73,74\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=73,32\%$$

**Tab. 47.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności PFOs i wieku dla grupy ogólnej

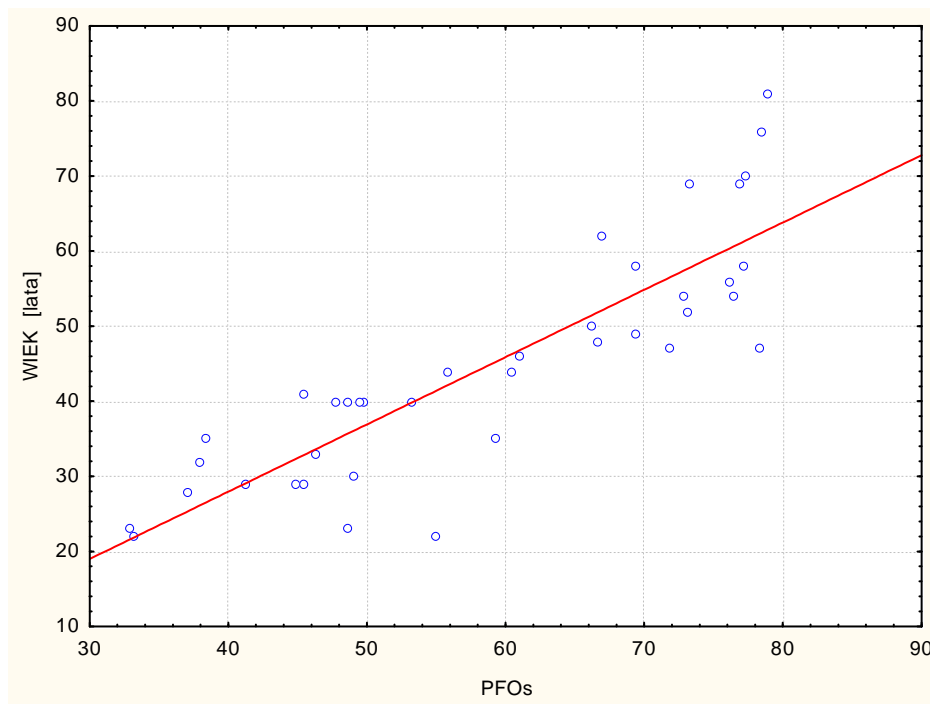
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 15,9                  | -21,9  | -2,041                              | -2,331                | 1,1743                                  | 0,0004                 | 0,000008        |
| Maksim. | 91,0                | 70,6                  | 25,0   | 1,458                               | 2,666                 | 2,6854                                  | 4,1657                 | 0,1325          |
| Średnia | 47,8                | 47,8                  | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,6182                                  | 0,9843                 | 0,0159          |
| Mediana | 47,0                | 50,6                  | 0,46   | 0,179                               | 0,049                 | 1,5151                                  | 0,6553                 | 0,0039          |

**Ryc. 49.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor PFOs.



Predyktor - powierzchnia zajmowana przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach dla grupy mężczyzn

Ryc. 50. Wykres rozrzutu parametru PFOs i wieku dla grupy mężczyzn



Tab. 48. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność PFOs i wieku dla grupy mężczyzn

|                            | Wartość   |
|----------------------------|-----------|
| R wielorakie               | 0,8606    |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,7406    |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,7336    |
| p                          | 2,162E-12 |
| Błąd std. estymacji        | 7,95      |

model istotny statystycznie p<0,00001

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji β | Błąd standardowy β | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|-----------|
| N=39     |  |                    |                         |                    |                  |           |
| W. wolny |  |                    | -7,89538                | 5,277435           | -1,49606         | 0,143119  |
| PFOs     | 0,860577                               | 0,083732           | 0,89635                 | 0,087213           | 10,27780         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = -7,9 + 0,8964 * X \pm 7,9$$

$$R=0,8606$$

$$R^2=74,06\%$$

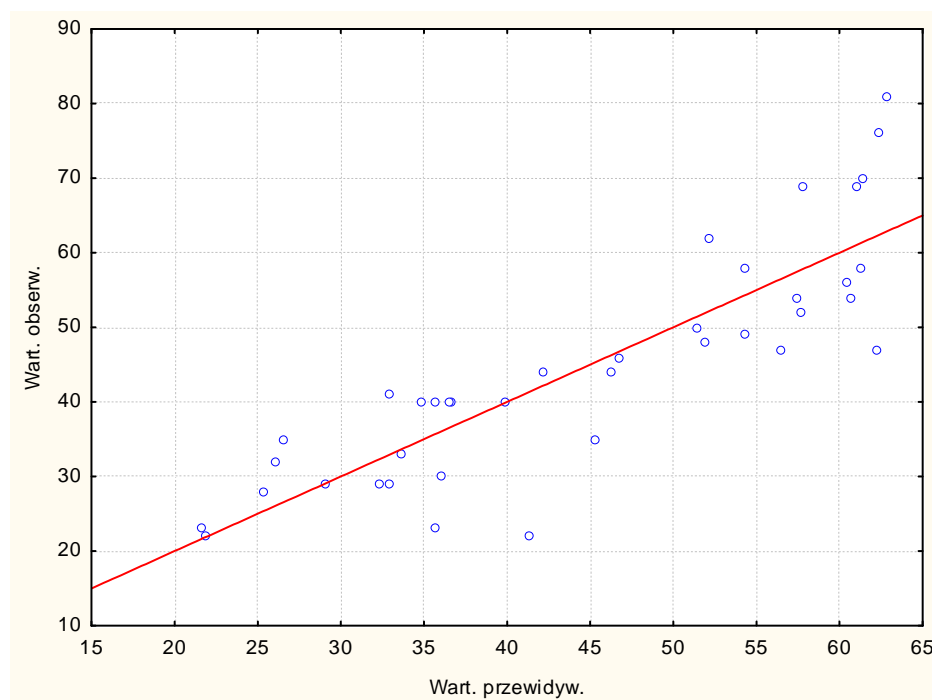
$$\text{Skoryg. } R^2=73,36\%$$



**Tab. 49.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności PFOs i wieku dla grupy mężczyzn

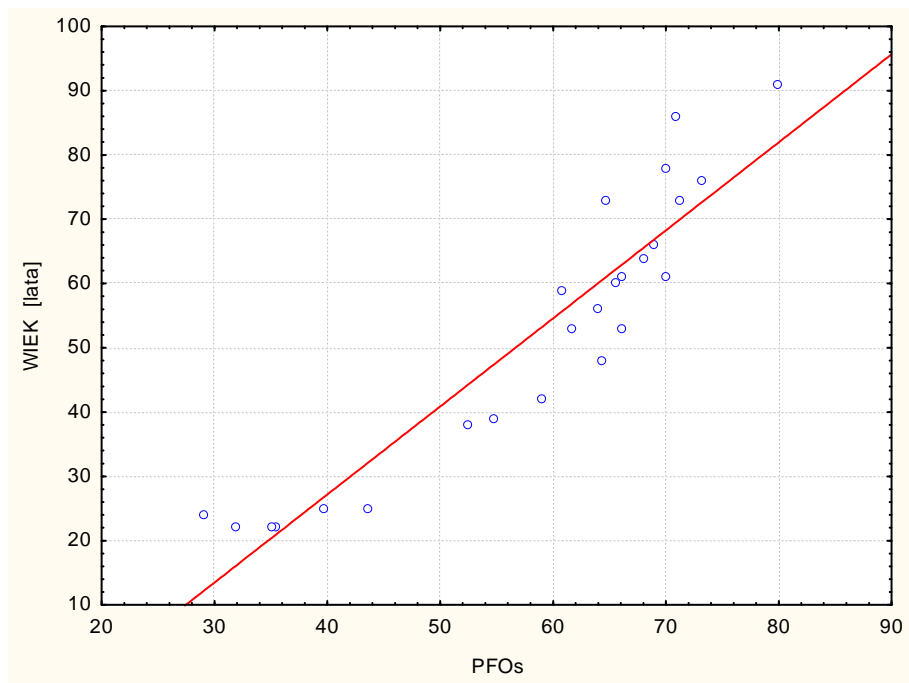
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywan | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 21,6                  | -19,3  | -1,746                             | -2,429                | 1,2739                                  | 0,0015                 | 0,000004        |
| Maksim. | 81,0                | 62,8                  | 18,2   | 1,364                              | 2,286                 | 2,5871                                  | 3,0505                 | 0,2277          |
| Średnia | 44,7                | 44,7                  | 0,0    | 0,0                                | 0,0                   | 1,7658                                  | 0,9743                 | 0,0283          |
| Mediana | 44,0                | 45,2                  | -0,12  | 0,038                              | -0,015                | 1,7177                                  | 0,8000                 | 0,0091          |

**Ryc. 51.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor PFOs.



Predyktor - powierzchnia zajmowana przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach dla grupy kobiet

**Ryc. 52.** Wykres rozrzutu parametru PFOs i wieku dla grupy kobiet



**Tab. 50.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność PFOs i wieku dla grupy kobiet

|                            | Wartość   |
|----------------------------|-----------|
| R wielorakie               | 0,9311    |
| Wielorakie R <sup>2</sup>  | 0,8670    |
| Skorygowane R <sup>2</sup> | 0,8612    |
| p                          | 1,473E-11 |
| Błąd std. estymacji        | 7,92      |

model istotny statystycznie p<0,00001

|          | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji β | Błąd standardowy β | Statystyka t(62) | p         |
|----------|--|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|-----------|
| N=25     |  |                    |                         |                    |                  |           |
| W. wolny |  |                    | -27,6040                | 6,744818           | -4,09263         | 0,000447  |
| PFOs     | 0,931139                               | 0,076038           | 1,3696                  | 0,111840           | 12,24576         | 0,0000001 |

$$\text{wiek} = -27,60 + 1,3696 * X \pm 7,9$$

$$R=0,9311$$

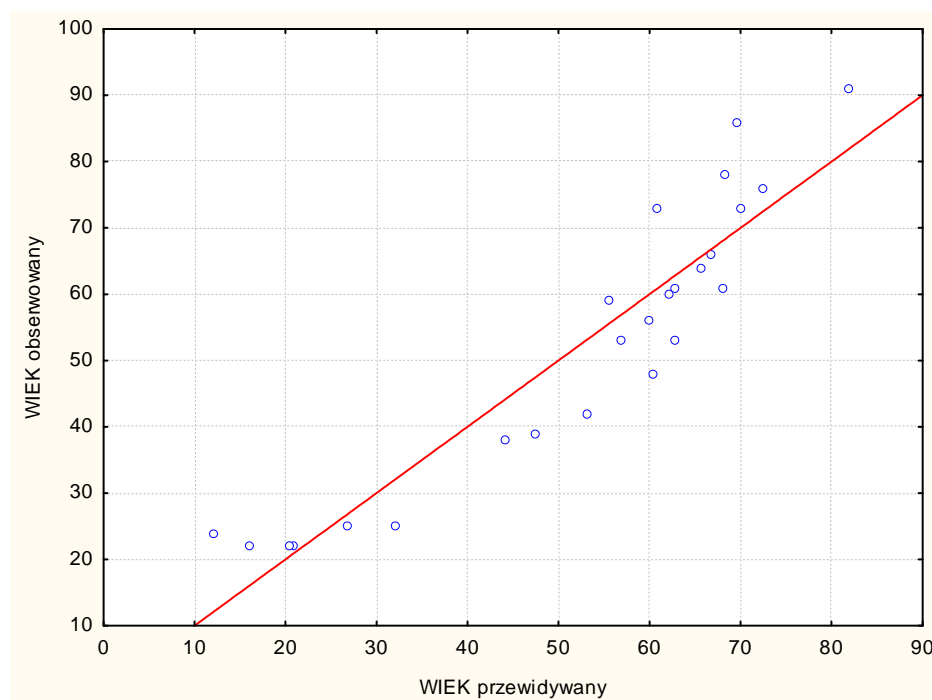
$$R^2=86,70\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=86,12\%$$

**Tab. 51.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności PFOs i wieku dla grupy kobiet

|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 12,11                 | -12,45 | -2,048                              | -1,572                | 1,5850                                  | 0,0006                 | 0,000318        |
| Maksim. | 91,0                | 81,8                  | 16,50  | 1,471                               | 2,082                 | 3,6721                                  | 4,1963                 | 0,392285        |
| Średnia | 52,68               | 52,68                 | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 2,1611                                  | 0,9600                 | 0,047602        |
| Mediana | 56,0                | 60,46                 | -1,66  | 0,392                               | -0,209                | 1,9576                                  | 0,5054                 | 0,015910        |

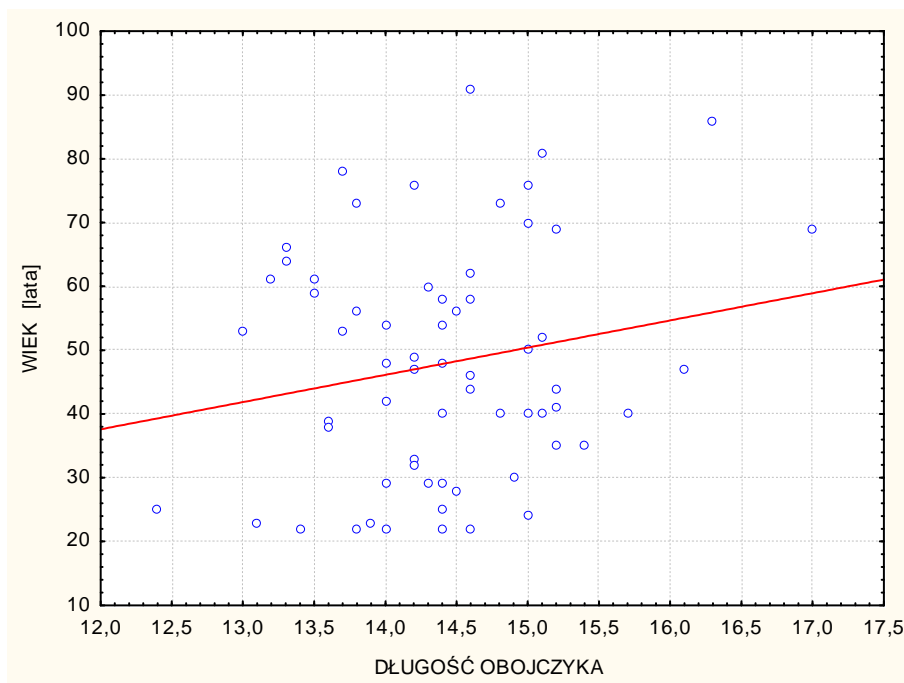
**Ryc. 53.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej, predyktor POs dla grupy kobiet.



### 6.3.2. Wyniki nie istotne statystycznie.

6.3.2a Predyktor - długość obojczyka, cm. Analiza grupy składającej się z osób obojga płci.

Ryc. 54. Wykres rozrzutu parametru długość obojczyka i wieku.



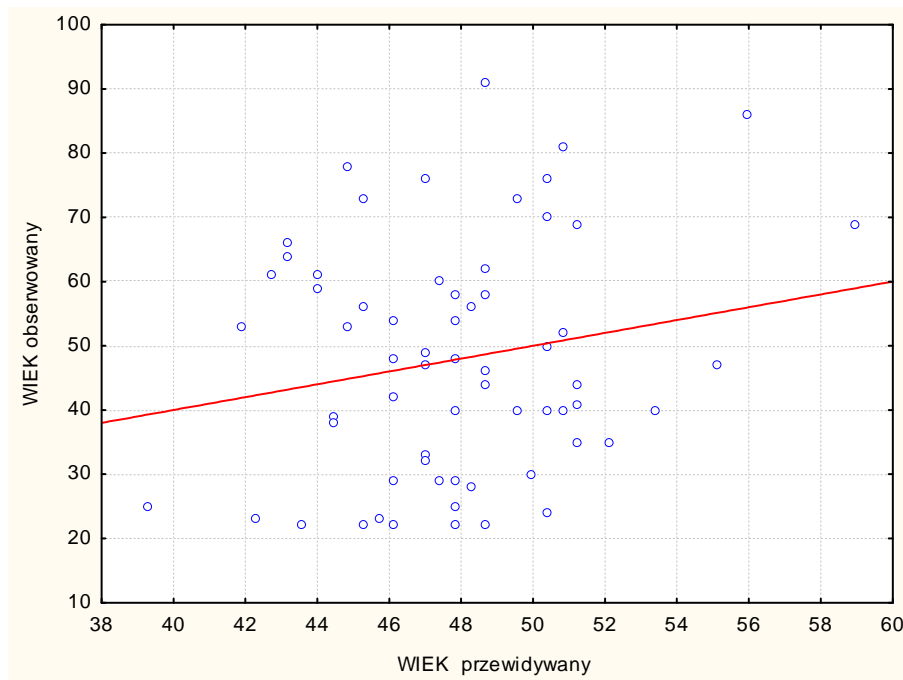
Tab. 52. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność długości obojczyka i wieku

|                     | Wartość |
|---------------------|---------|
| R wielorakie        | 0,1901  |
| Wielorakie $R^2$    | 0,0361  |
| Skorygowane $R^2$   | 0,0206  |
| p                   | 0,1324  |
| Błąd std. estymacji | 17,99   |

Model nie jest istotny statystycznie  $p > 0,05$ .

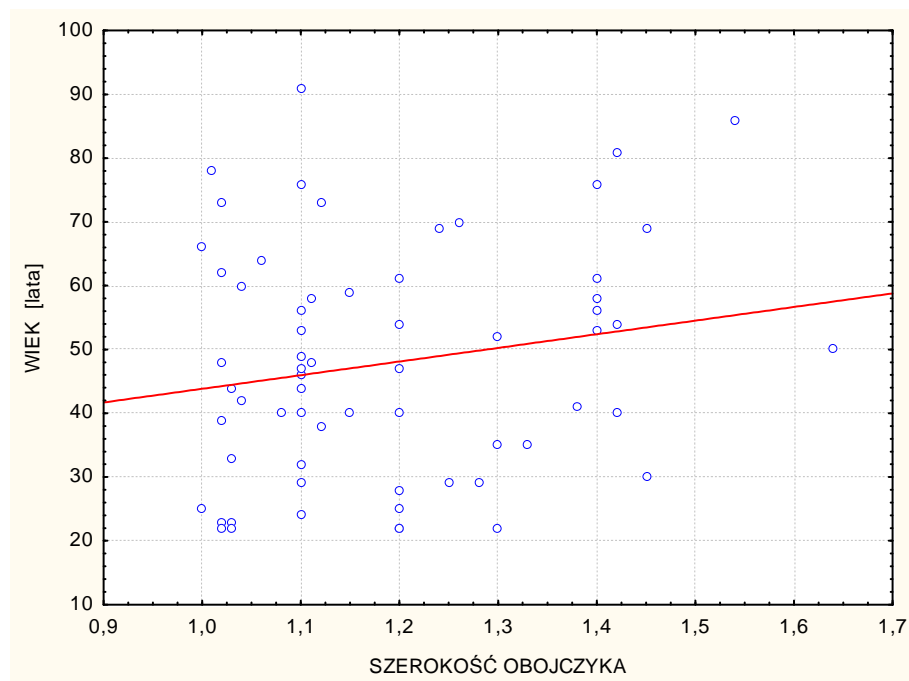
|                   | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|-------------------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| N=64              |  |                    |                               |                          |                  |          |
| W. wolny          |  |                    | -13,5993                      | 40,36346                 | -0,336921        | 0,737314 |
| DŁUGOŚĆ OBOJCZYKA | 0,190095                               | 0,124684           | 4,2664                        | 2,79836                  | 1,524614         | 0,132441 |

**Ryc. 55.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej, predyktor - długość obojczyka.



**6.3.2b** Predyktor - szerokość obojczyka, cm. Analiza grupy składającej się z osób obojga płci.

**Ryc. 56.** Wykres rozrzutu parametru szerokość obojczyka i wieku.



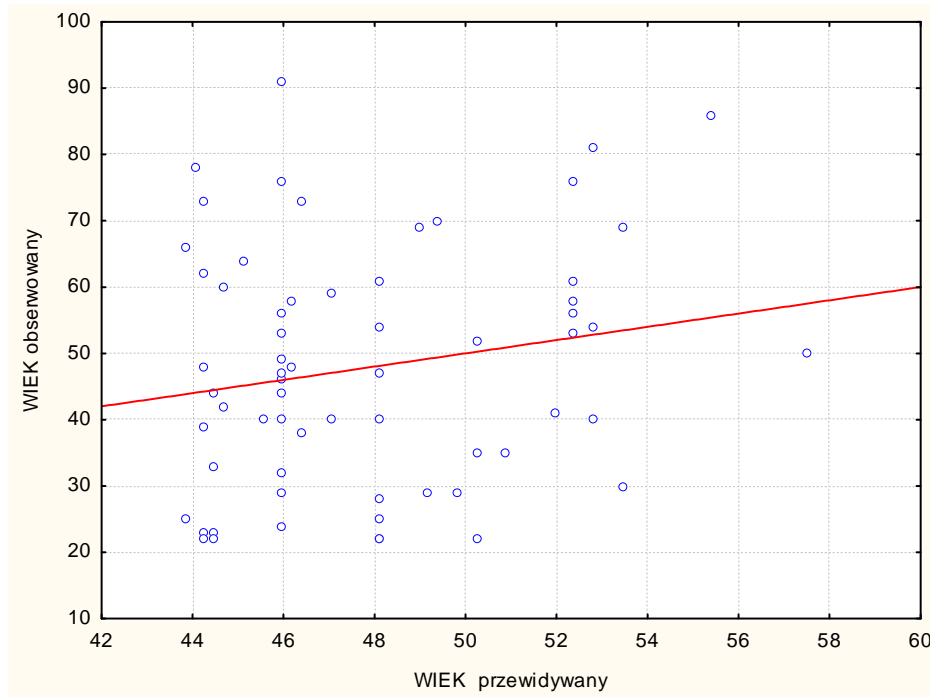
**Tab. 53.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność szerokości obojczyka i wieku

|                     | Wartość |
|---------------------|---------|
| R wielorakie        | 0,1831  |
| Wielorakie $R^2$    | 0,0335  |
| Skorygowane $R^2$   | 0,0180  |
| p                   | 2,1518  |
| Błąd std. estymacji | 0,1475  |

Model nie jest istotny statystycznie  $p > 0,05$ .

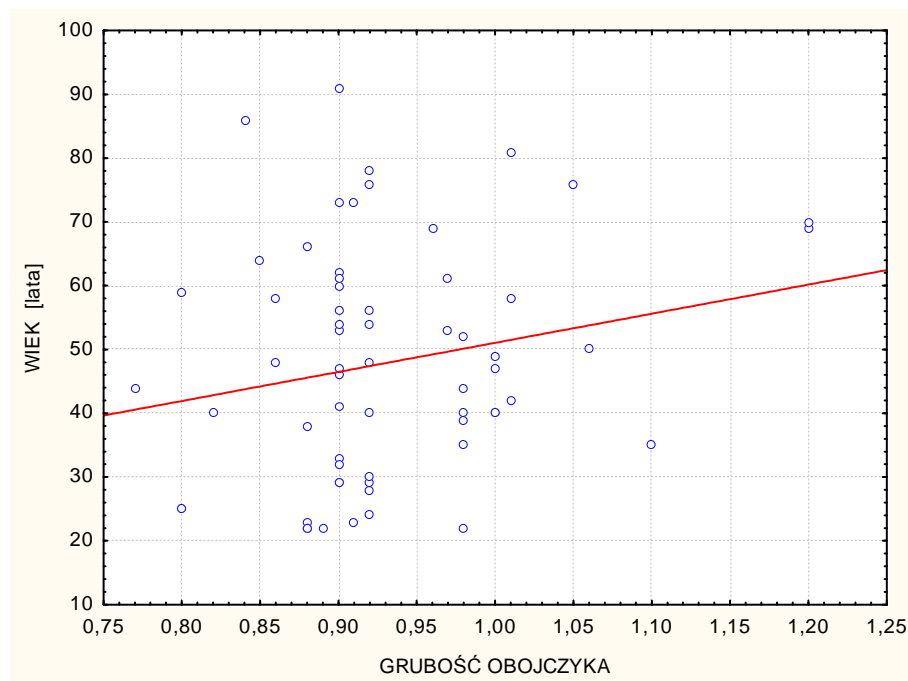
| N=64                | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|---------------------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny            |  |                    | 22,45129                      | 17,45617                 | 1,286152         | 0,203172 |
| SZEROKOŚĆ OBOJCZYKA | 0,183146                               | 0,124852           | 21,38031                      | 14,57514                 | 1,466903         | 0,147457 |

**Ryc. 57.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej, predyktor - szerokość obojczyka.



**6.3.2c** Predyktor - grubość obojczyka, cm. Analiza grupy składającej się z osób obojga płci.

**Ryc. 58.** Wykres rozrzutu parametru grubość obojczyka i wieku.



**Tab. 54.** Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej zależność grubości obojczyka i wieku

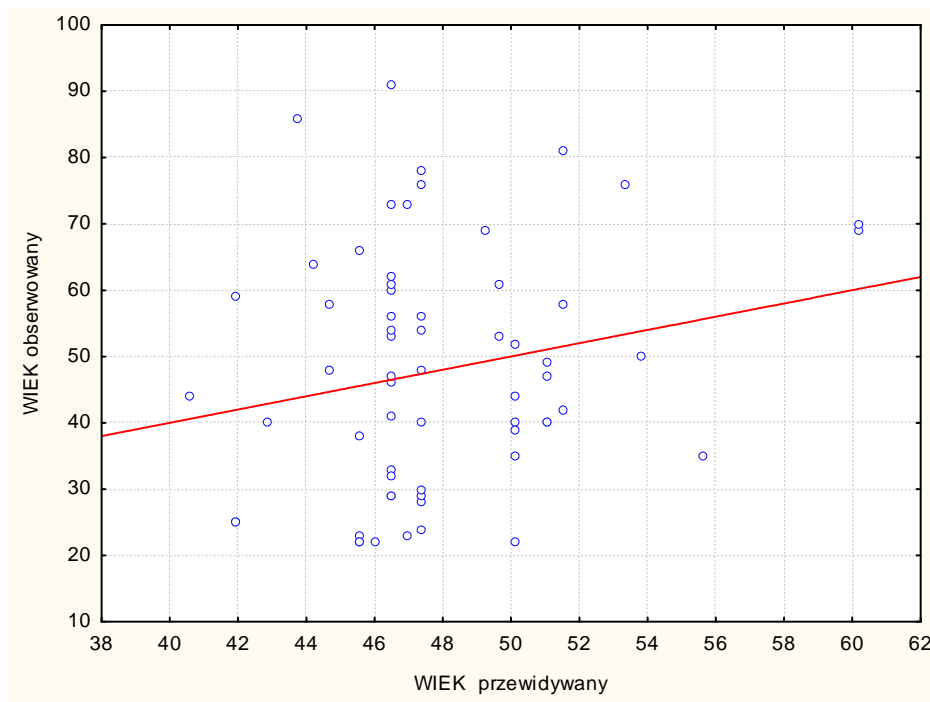
|                     | Wartość |
|---------------------|---------|
| R wielorakie        | 0,2020  |
| Wielorakie $R^2$    | 0,0408  |
| Skorygowane $R^2$   | 0,0253  |
| p                   | 0,1095  |
| Błąd std. estymacji | 17,95   |

Model nie jest istotny statystycznie  $p > 0,05$ .

| N=64              | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|-------------------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny          |  |                    | 5,44081                       | 26,21213                 | 0,207568         | 0,836246 |
| GRUBOŚĆ OBOJCZYKA | 0,201954                               | 0,124383           | 45,60222                      | 28,08634                 | 1,623644         | 0,109526 |



**Ryc. 59.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej, predyktor - grubość obojczyka.



## 6.4. Wyniki modeli regresji wielowymiarowej

### 6.4.1 Wyniki modeli regresji wielowymiarowej dla grupy ogólnej

**Tab. 55.** Wyniki modelu standardowej regresji wielowymiarowej badającej zależność wszystkich parametrów i wieku dla grupy ogólnej.

|                     | Wartość  |
|---------------------|----------|
| R wielorakie        | 0,95773  |
| Wielorakie R2       | 0,91724  |
| Skorygowane R2      | 0,90520  |
| p                   | 0,000001 |
| Błąd std. estymacji | 5,59829  |

| N=64   | Standaryzowa<br>ny<br>współczynnik<br>regresji b | Błąd<br>standardow<br>y<br>b | Współczynni<br>k regresji $\beta$ | Błąd<br>standardow<br>y<br>$\beta$ | Statystyk<br>a<br>t(62) | p            |
|--|--|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------|
| W. wolny   |  |                              | 138,6162                          | 241,6943                           | 0,57352                 | 0,56863<br>1 |
| X1 - LICZBA OSTEONÓW   | 0,134508   | 0,089274                     | 0,1212                            | 0,0805                             | 1,50668                 | 0,13761<br>4 |
| X2 - LICZBA OSTEONÓW<br>O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m                    | -0,398152  | 0,295937                     | -0,5642                           | 0,4194                             | -1,34540                | 0,18401<br>8 |
| X3 - ŚREDNIA ŚREDNICA<br>KANAŁÓW HAVERSA                           | 0,316338   | 0,120791                     | 0,3911                            | 0,1493                             | 2,61888                 | 0,01137<br>7 |
| X4 - % POWIERZCHNI<br>BLASZEK<br>MIĘDZYSYSTEMOWYCH                 | -0,601040  | 1,224408                     | -1,2036                           | 2,4518                             | -0,49088                | 0,62546<br>3 |
| X5 - % POWIERZCHNI<br>OSTEONÓW BEZ<br>PRZEBUDOWY                   | -0,662448  | 1,035547                     | -1,5410                           | 2,4088                             | -0,63971                | 0,52501<br>8 |
| X6 - % POWIERZCHNI<br>FRAGMENTÓW PO<br>PRZEBUDOWANYCH<br>OSTEONACH | -0,835811  | 1,944053                     | -1,0449                           | 2,4304                             | -0,42993                | 0,66892<br>5 |
| X7 - ŚREDNIA GRUBOŚĆ<br>BLASZEK KOSTNYCH<br>ZEWNETRZNYCH           | -0,187562  | 0,068384                     | -0,0965                           | 0,0352                             | -2,74277                | 0,00820<br>7 |
| X8 - % OSTEONÓW O<br>ŚREDNICY > 70 $\mu$ m                         | 0,628066   | 0,267301                     | 1,1585                            | 0,4930                             | 2,34966                 | 0,02240<br>8 |

$$\text{wiek} = 138,61 + 0,1212 * X_1 - 0,5642 * X_2 + 0,3911 * X_3 - 1,2036 * X_4 - 1,5410 * X_5 - 1,0449 * X_6 - 0,0965 * X_7 + 1,1585 * X_8 \pm 5,6$$

$$R=0,95773$$

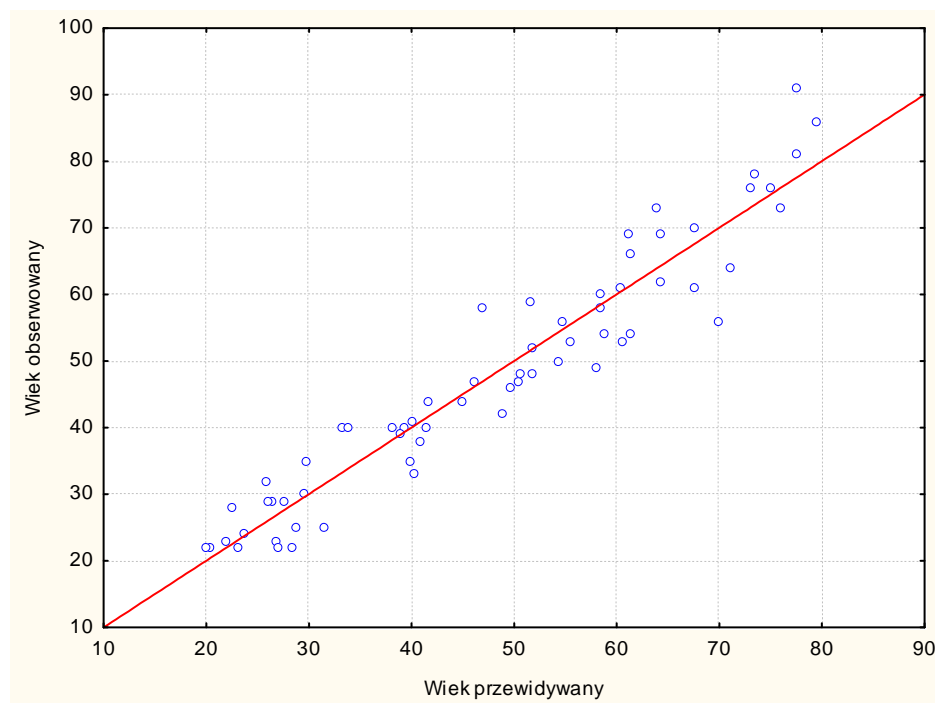
$$R^2=91,72\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=90,52\%$$

**Tab. 56.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności wszystkich predyktorów i wieku dla grupy ogólnej

|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana. | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 19,87                 | -13,83 | -1,606                              | -2,472                | 1,1227                                  | 1,549                  | 0,000003        |
| Maksim. | 91,0                | 79,44                 | 13,51  | 1,814                               | 2,414                 | 4,6841                                  | 43,120                 | 0,287469        |
| Średnia | 47,8                | 47,84                 | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,9946                                  | 7,875                  | 0,021601        |
| Mediana | 47,0                | 49,23                 | 0,567  | 0,0801                              | 0,101                 | 1,7738                                  | 5,340                  | 0,006988        |

**Ryc. 60.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej wielowymiarowej standardowej dla grupy ogólnej



**Tab. 57.** Wyniki modelu postępującej regresji wielowymiarowej badającej zależność wybranych parametrów i wieku dla grupy ogólnej.

|                     | Wartość |
|---------------------|---------|
| R wielorakie        | 0,9557  |
| Wielorakie R2       | 0,9135  |
| Skorygowane R2      | 0,9060  |
| p                   | 0,00001 |
| Błąd std. estymacji | 5,5750  |

| N=64  | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|---|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny  |  |                    | 24,82576                      | 16,70102                 | 1,48648          | 0,142568 |
| X <sub>3</sub> - ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA                     | 0,317494                               | 0,107090           | 0,39253                       | 0,13240                  | 2,96473          | 0,004391 |
| X <sub>6</sub> - % POWIERZCHNI FRAGMENTÓW PO PRZEBUDOWANYCH OSTEONACH | 0,199493                               | 0,135450           | 0,24940                       | 0,16934                  | 1,47282          | 0,146206 |
| X <sub>7</sub> - ŚREDNIA GRUBOŚĆ BLASZEK KOSTNYCH ZEWNĘTRZNYCH        | -0,194750                              | 0,065175           | -0,10018                      | 0,03353                  | -2,98813         | 0,004110 |
| X <sub>8</sub> - % OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m                   | 0,265351                               | 0,094702           | 0,48945                       | 0,17468                  | 2,80197          | 0,006893 |
| X <sub>5</sub> - % POWIERZCHNI OSTEONÓW BEZ PRZEBUDOWY                | -0,112326                              | 0,094066           | -0,26129                      | 0,21881                  | -1,19411         | 0,237295 |

wiek = 24,83 + 0,39253 \* X<sub>3</sub> - 0,26129 \* X<sub>5</sub> + 0,24940 \* X<sub>6</sub> - 0,10018 \* X<sub>7</sub> + 0,48945 \* X<sub>8</sub> ± 5,6

R=0,9557

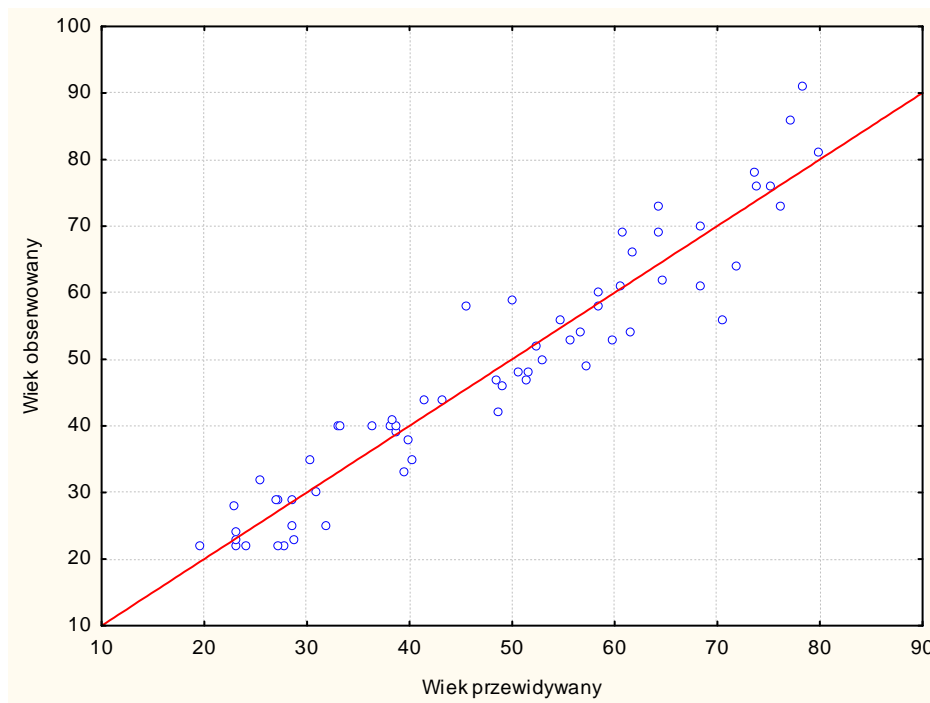
R<sup>2</sup>=91,35%

Skoryg. R<sup>2</sup>=90,60%

**Tab. 58.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności wybranych predyktorów modelu postępującej regresji wielowymiarowej i wieku dla grupy ogólnej

|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 19,64                | -14,55 | -1,6228                             | -2,610                | 1,0172                                  | 1,112                  | 0,000000        |
| Maksim. | 91,0                | 79,79                | 12,74  | 1,8385                              | 2,285                 | 3,0910                                  | 18,382                 | 0,262841        |
| Średnia | 47,8                | 47,84                | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,6530                                  | 4,921                  | 0,022657        |
| Mediana | 47,0                | 48,92                | 0,414  | 0,0623                              | 0,0742                | 1,5774                                  | 4,059                  | 0,004703        |

**Ryc. 61.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej wielowymiarowej postępującej dla grupy ogólnej



**Tab. 59.** Wyniki modelu wstecznej regresji wielowymiarowej badającej zależność wybranych parametrów i wieku dla grupy ogólnej.

|                     | Wartość |
|---------------------|---------|
| R wielorakie        | 0,9470  |
| Wielorakie R2       | 0,8968  |
| Skorygowane R2      | 0,8916  |
| p                   | 0,00001 |
| Błąd std. estymacji | 5,9851  |

| N=64   | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|--|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny   |  |                    | 38,78574                      | 7,859324                 | 4,93500          | 0,000007 |
| X <sub>3</sub> - ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA              | 0,612638                               | 0,064555           | 0,75743                       | 0,079813                 | 9,49013          | 0,000000 |
| X <sub>5</sub> - % POWIERZCHNI OSTEONÓW BEZ PRZEBUDOWY         | -0,226978                              | 0,046660           | -0,52798                      | 0,108538                 | -4,86450         | 0,000009 |
| X <sub>7</sub> - ŚREDNIA GRUBOŚĆ BLASZEK KOSTNYCH ZEWNĘTRZNYCH | -0,258801                              | 0,061444           | -0,13313                      | 0,031606                 | -4,21201         | 0,000086 |

$$\text{wiek} = 38,78574 + 0,75743 * X_3 - 0,52798 * X_5 - 0,13313 * X_7 \pm 6,0$$

$$R=0,9470$$

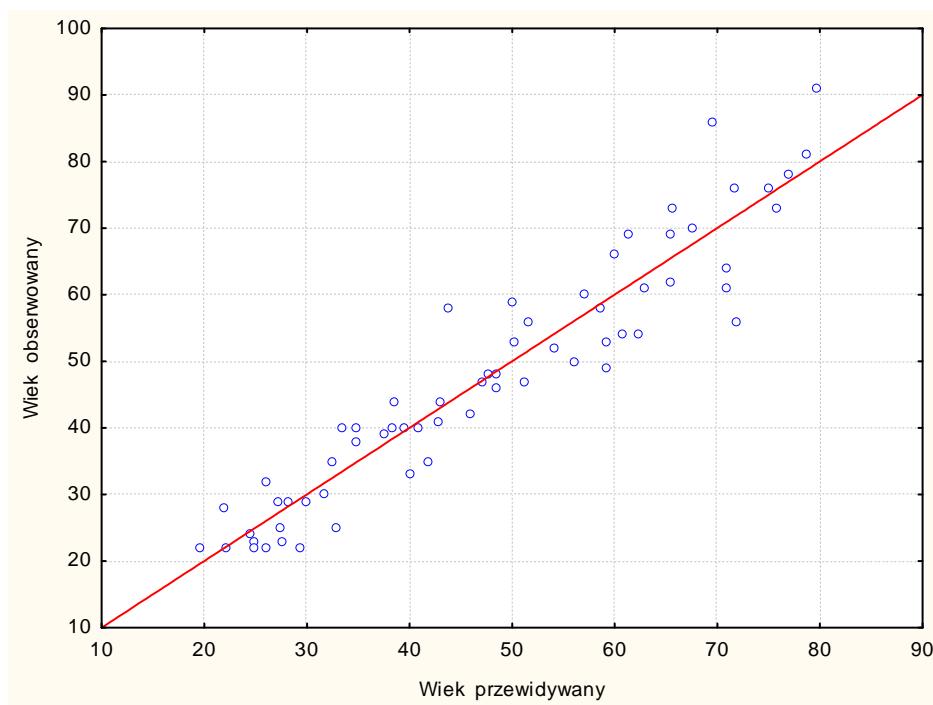
$$R^2=89,68\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=89,16\%$$

**Tab. 60.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności wybranych predyktorów modelu wstecznej regresji wielowymiarowej i wieku dla grupy ogólnej

|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 19,65                | -15,84 | -1,636                              | -2,648                | 0,8348                                  | 0,241                  | 0,000003        |
| Maksim. | 91,0                | 79,57                | 16,40  | 1,842                               | 2,740                 | 3,2621                                  | 17,730                 | 0,206599        |
| Średnia | 47,8                | 47,84                | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,4314                                  | 2,953                  | 0,019242        |
| Mediana | 47,0                | 47,34                | -0,082 | -0,0292                             | -0,0137               | 1,3863                                  | 2,397                  | 0,004054        |

**Ryc. 62.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej wielowymiarowej wstecznej dla grupy ogólnej



#### 6.4.2 Wyniki modeli regresji wielowymiarowej dla grupy mężczyzn

**Tab. 61.** Wyniki modelu standardowej regresji wielowymiarowej badającej zależność wszystkich parametrów i wieku dla grupy mężczyzn.

|                     | Wartość  |
|---------------------|----------|
| R wielorakie        | 0,95030  |
| Wielorakie R2       | 0,90307  |
| Skorygowane R2      | 0,87722  |
| p                   | 0,000001 |
| Błąd std. estymacji | 5,39645  |

| N=39  | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|---|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny  |  |                    | -116,734                      | 572,7594                 | -0,203809        | 0,839879 |
| X1 - LICZBA OSTEONÓW                                      | 0,139740                               | 0,122661           | 0,104                         | 0,0909                   | 1,139232         | 0,263622 |
| X2 - LICZBA OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m              | -0,278356                              | 0,430366           | -0,371                        | 0,5738                   | -0,646788        | 0,522687 |
| X3 - ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA                     | 0,251057                               | 0,171134           | 0,301                         | 0,2053                   | 1,467021         | 0,152776 |
| X4 - % POWIERZCHNI BŁASZEK MIĘDZYSYSTEMOWYCH              | 0,706503                               | 3,301942           | 1,219                         | 5,6971                   | 0,213966         | 0,832021 |
| X5 - % POWIERZCHNI OSTEONÓW BEZ PRZEBUDOWY                | 0,543753                               | 2,920725           | 1,071                         | 5,7514                   | 0,186170         | 0,853564 |
| X6 - % POWIERZCHNI FRAGMENTÓW PO PRZEBUDOWANYCH OSTEONACH | 1,446825                               | 5,524929           | 1,507                         | 5,7546                   | 0,261872         | 0,795210 |
| X7 - ŚREDNIA GRUBOŚĆ BŁASZEK KOSTNYCH ZEWNĘTRZNYCH        | -0,099791                              | 0,105633           | -0,044                        | 0,0465                   | -0,944693        | 0,352363 |
| X8 - % OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m                   | 0,536202                               | 0,414088           | 0,996                         | 0,7689                   | 1,294901         | 0,205232 |

wiek = -116,734 + 0,104 \* X<sub>1</sub> - 0,371 \* X<sub>2</sub> + 0,301 \* X<sub>3</sub> + 1,219 \* X<sub>4</sub> + 1,071 \* X<sub>5</sub> + 1,507 \* X<sub>6</sub> - 0,044 \* X<sub>7</sub> + 0,996 \* X<sub>8</sub> ± 5,4

R=0,95030

R<sup>2</sup>=90,31%

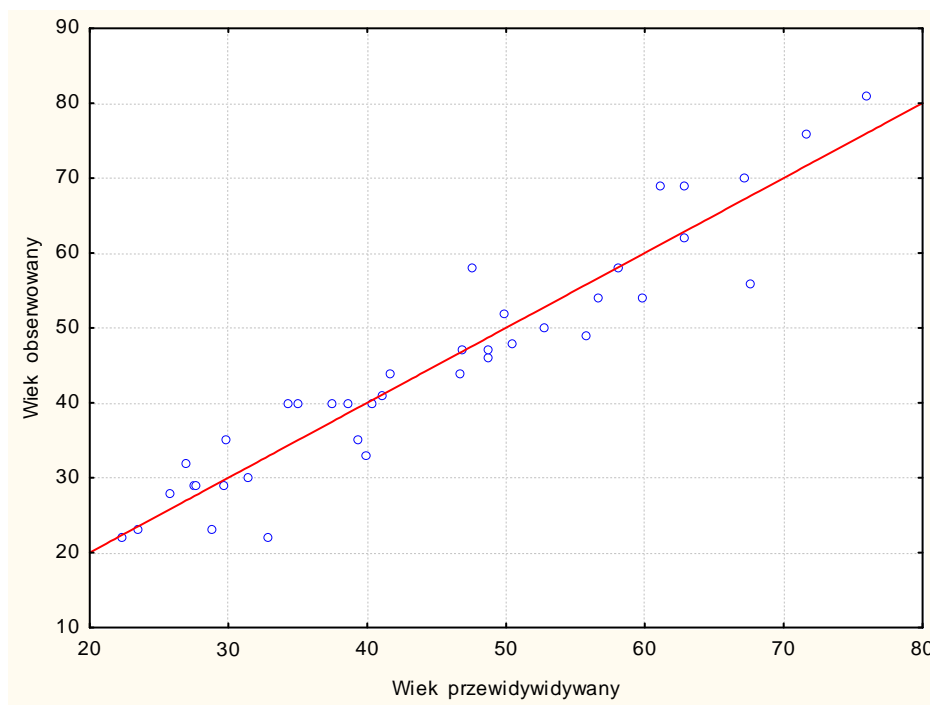
Skoryg. R<sup>2</sup>=87,72%



**Tab. 62.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności wszystkich predyktorów i wieku dla grupy mężczyzn

|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 22,25                | -11,62 | -1,536                              | -2,153                | 1,4995                                  | 1,960                  | 0,000004        |
| Maksim. | 81,0                | 76,03                | 10,51  | 2,137                               | 1,948                 | 5,2419                                  | 34,881                 | 0,808550        |
| Średnia | 44,7                | 44,74                | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 2,4582                                  | 7,794                  | 0,050253        |
| Mediana | 44,0                | 41,57                | -0,085 | -0,216                              | -0,015                | 2,1187                                  | 4,883                  | 0,007703        |

**Ryc. 63.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej wielowymiarowej standardowej dla grupy mężczyzn



**Tab. 63.** Wyniki modelu postępującej regresji wielowymiarowej badającej zależność wszystkich parametrów i wieku dla grupy mężczyzn.

|                     | Wartość  |
|---------------------|----------|
| R wielorakie        | 0,94759  |
| Wielorakie R2       | 0,89792  |
| Skorygowane R2      | 0,88591  |
| p                   | 0,000001 |
| Błąd std. estymacji | 5,20201  |

| N=39  | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|---|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny  |  |                    | 4,441096                      | 9,557114                 | 0,46469          | 0,645116 |
| X <sub>3</sub> - ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA                     | 0,308335                               | 0,147392           | 0,369897                      | 0,176820                 | 2,09194          | 0,043985 |
| X <sub>6</sub> - % POWIERZCHNI FRAGMENTÓW PO PRZEBUDOWANYCH OSTEONACH | 0,384219                               | 0,088903           | 0,400192                      | 0,092599                 | 4,32177          | 0,000128 |
| X <sub>8</sub> - % OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m                   | 0,247453                               | 0,130869           | 0,459456                      | 0,242989                 | 1,89085          | 0,067191 |
| X <sub>7</sub> - ŚREDNIA GRUBOŚĆ BLASZEK KOSTNYCH ZEWNĘTRZNYCH        | -0,104809                              | 0,081813           | -0,046149                     | 0,036024                 | -1,28108         | 0,208836 |

$$\text{wiek} = 4,441096 + 0,369897 * X_3 + 0,400192 * X_6 - 0,046149 * X_7 + 0,459456 * X_8 \pm 5,2$$

$$R=0,94759$$

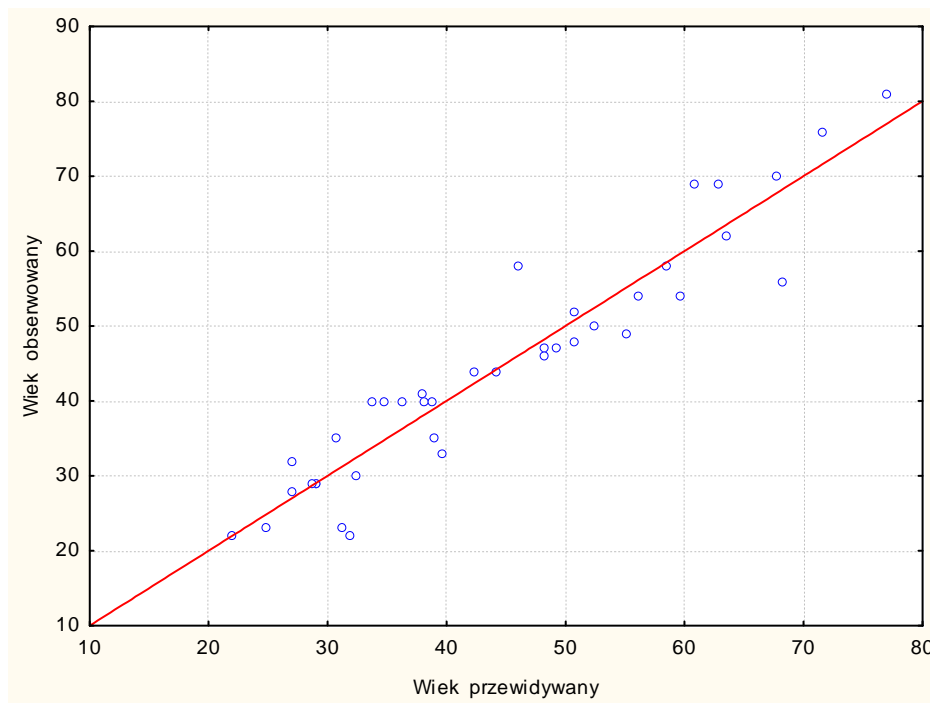
$$R^2=89,79\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=88,59\%$$

**Tab. 64.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności wybranych predyktorów modelu postępującej regresji wielowymiarowej i wieku dla grupy mężczyzn

|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 21,9                 | -12,27 | -1,564                              | -2,359                | 1,0631                                  | 0,612                  | 0,000000        |
| Maksim. | 81,0                | 77,03                | 12,02  | 2,212                               | 2,311                 | 3,4496                                  | 15,736                 | 1,024511        |
| Średnia | 44,7                | 44,7                 | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,7827                                  | 3,897                  | 0,056630        |
| Mediana | 44,0                | 42,3                 | 0,037  | -0,165                              | 0,0072                | 1,6082                                  | 2,657                  | 0,007837        |

**Ryc. 64.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej wielowymiarowej postępującej dla grupy mężczyzn



**Tab. 65.** Wyniki modelu wstecznej regresji wielowymiarowej badającej zależność wybranych parametrów i wieku dla grupy mężczyzn.

|                     | Wartość |
|---------------------|---------|
| R wielorakie        | 0,9393  |
| Wielorakie R2       | 0,8823  |
| Skorygowane R2      | 0,8757  |
| p                   | 0,00001 |
| Błąd std. estymacji | 5,4290  |

| N=39  | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|---|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny  |  |                    | -13,5053                      | 3,703616                 | -3,64650         | 0,000834 |
| X <sub>3</sub> - ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA                     | 0,572557                               | 0,086983           | 0,6869                        | 0,104351                 | 6,58237          | 0,000000 |
| X <sub>6</sub> - % POWIERZCHNI FRAGMENTÓW PO PRZEBUDOWANYCH OSTEONACH | 0,429141                               | 0,086983           | 0,4470                        | 0,090600                 | 4,93360          | 0,000018 |

$$\text{wiek} = -13,5053 + 0,6869 * X_3 + 0,4470 * X_6 \pm 5,4$$

$$R=0,9393$$

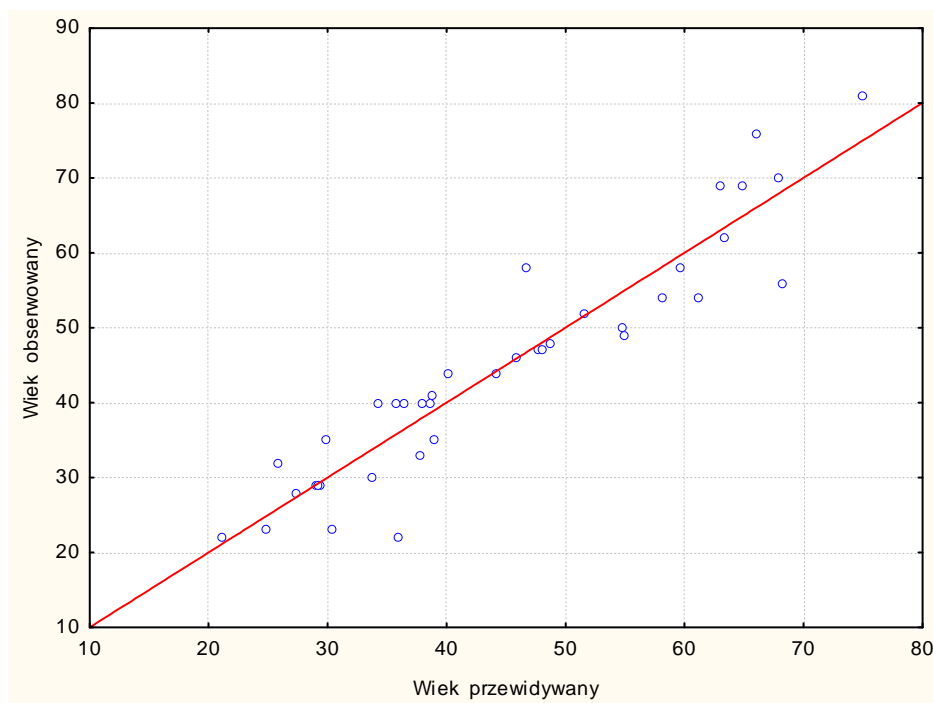
$$R^2=88,23\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=87,57\%$$

**Tab. 66.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności wybranych predyktorów modelu wstecznej regresji wielowymiarowej i wieku dla grupy mężczyzn

|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 21,1                 | -13,89 | -1,633                              | -2,560                | 0,8898                                  | 0,0464                 | 0,000002        |
| Maksim. | 81,0                | 74,99                | 11,30  | 2,091                               | 2,083                 | 2,6257                                  | 7,9144                 | 0,576500        |
| Średnia | 44,7                | 44,7                 | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 1,4477                                  | 1,9487                 | 0,038792        |
| Mediana | 44,0                | 40,1                 | 0,0502 | -0,317                              | 0,009                 | 1,3455                                  | 1,3598                 | 0,006226        |

**Ryc. 65.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej wielowymiarowej wstecznej dla grupy mężczyzn



### 6.4.3 Wyniki modeli regresji wielowymiarowej dla grupy kobiet

**Tab. 67.** Wyniki modelu standardowej regresji wielowymiarowej badającej zależność wszystkich parametrów i wieku dla grupy kobiet.

|                     | Wartość  |
|---------------------|----------|
| R wielorakie        | 0,98492  |
| Wielorakie R2       | 0,97006  |
| Skorygowane R2      | 0,95509  |
| p                   | 0,000001 |
| Błąd std. estymacji | 4,50685  |

| N=25  | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|---|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny  |  |                    | -376,336                      | 264,9104                 | -1,42061         | 0,174623 |
| X <sub>1</sub> - LICZBA OSTEONÓW                                      | 0,64499                                | 0,189149           | 0,716                         | 0,2099                   | 3,40995          | 0,003584 |
| X <sub>2</sub> - LICZBA OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m              | -1,62812                               | 0,538883           | -2,747                        | 0,9091                   | -3,02129         | 0,008111 |
| X <sub>3</sub> - ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA                     | 0,32690                                | 0,152310           | 0,434                         | 0,2020                   | 2,14631          | 0,047528 |
| X <sub>4</sub> - % POWIERZCHNI BLASZEK MIĘDZYSYSTEMOWYCH              | 1,53452                                | 1,125586           | 3,803                         | 2,7892                   | 1,36331          | 0,191663 |
| X <sub>5</sub> - % POWIERZCHNI OSTEONÓW BEZ PRZEBUDOWY                | 1,03078                                | 0,816841           | 3,226                         | 2,5563                   | 1,26191          | 0,225066 |
| X <sub>6</sub> - % POWIERZCHNI FRAGMENTÓW PO PRZEBUDOWANYCH OSTEONACH | 2,39812                                | 1,764483           | 3,527                         | 2,5953                   | 1,35910          | 0,192964 |
| X <sub>7</sub> - ŚREDNIA GRUBOŚĆ BLASZEK KOSTNYCH ZEWNĘTRZNYCH        | -0,45646                               | 0,090036           | -0,304                        | 0,0600                   | -5,06971         | 0,000114 |
| X <sub>8</sub> - % OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m                   | 1,65696                                | 0,446475           | 3,414                         | 0,9200                   | 3,71121          | 0,001897 |

$$\text{wiek} = -376,336 + 0,716 * X_1 - 2,747 * X_2 + 0,434 * X_3 + 3,803 * X_4 + 3,226 * X_5 + 3,527 * X_6 - 0,304 * X_7 + 3,414 * X_8 \pm 4,5$$

$$R=0,98492$$

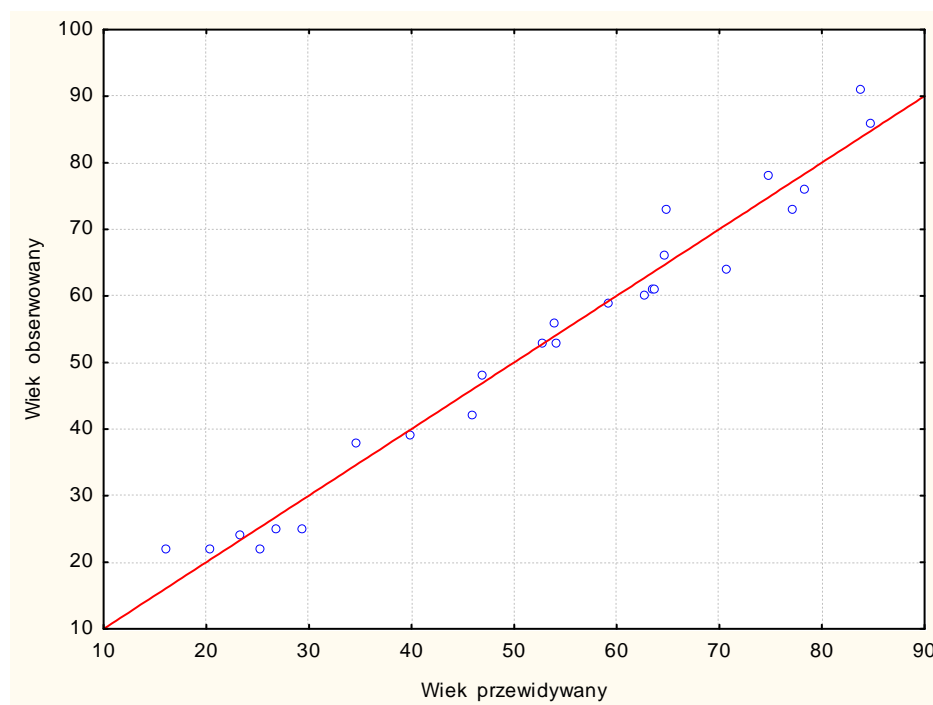
$$R^2=97,0\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=95,51\%$$

**Tab. 68.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności wszystkich predyktorów i wieku dla grupy kobiet

|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 16,06                | -6,74  | -1,747                              | -1,496                | 1,6374                                  | 2,208                  | 0,000284        |
| Maksim. | 91,0                | 84,72                | 8,18   | 1,529                               | 1,816                 | 4,1796                                  | 19,681                 | 0,589808        |
| Średnia | 52,6                | 52,68                | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 2,6320                                  | 7,680                  | 0,072890        |
| Mediana | 56,0                | 54,02                | -0,141 | 0,064                               | -0,031                | 2,5007                                  | 6,429                  | 0,029651        |

**Ryc. 66.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej wielowymiarowej standardowej dla grupy kobiet



**Tab. 69.** Wyniki modelu postępującej regresji wielowymiarowej badającej zależność wybranych parametrów i wieku dla grupy kobiet.

|                     | Wartość  |
|---------------------|----------|
| R wielorakie        | 0,98298  |
| Wielorakie R2       | 0,96625  |
| Skorygowane R2      | 0,95500  |
| p                   | 0,000001 |
| Błąd std. estymacji | 4,51145  |

| N=25  | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|---|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny  |  |                    | -27,9627                      | 20,16721                 | -1,38654         | 0,182516 |
| X <sub>6</sub> - % POWIERZCHNI FRAGMENTÓW PO PRZEBUDOWANYCH OSTEONACH | 0,10251                                | 0,145222           | 0,1508                        | 0,21360                  | 0,70585          | 0,489316 |
| X <sub>7</sub> - ŚREDNIA GRUBOŚĆ BLASZEK KOSTNYCH ZEWNĘTRZNYCH        | -0,40311                               | 0,081274           | -0,2685                       | 0,05413                  | -4,95988         | 0,000101 |
| X <sub>8</sub> - % OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m                   | 1,52740                                | 0,433128           | 3,1472                        | 0,89246                  | 3,52644          | 0,002411 |
| X <sub>1</sub> - LICZBA OSTEONÓW                                      | 0,54156                                | 0,171350           | 0,6009                        | 0,19014                  | 3,16057          | 0,005411 |
| X <sub>2</sub> - LICZBA OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m              | -1,58986                               | 0,537492           | -2,6822                       | 0,90679                  | -2,95793         | 0,008421 |
| X <sub>3</sub> - ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA                     | 0,36406                                | 0,150221           | 0,4828                        | 0,19921                  | 2,42346          | 0,026136 |

$$\text{wiek} = -27,9627 + 0,6009 * X_1 - 2,6822 * X_2 + 0,4828 * X_3 + 0,1508 * X_6 - 0,2685 * X_7 + 3,1472 * X_8 \pm 4,5$$

$$R=0,98298$$

$$R^2=96,62\%$$

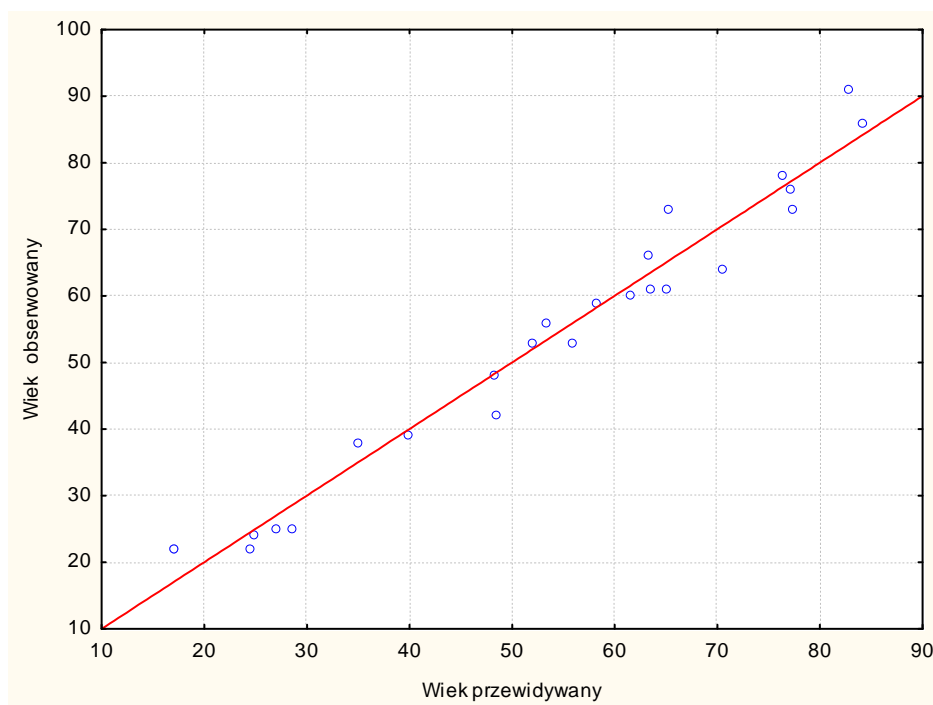
$$\text{Skoryg. } R^2=95,50\%$$



**Tab. 70.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności wybranych predyktorów modelu postępującej regresji wielowymiarowej i wieku dla grupy kobiet

|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana | Reszta | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|----------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 17,11                | -6,523 | -1,700                              | -1,445                | 1,3498                                  | 1,188                  | 0,000059        |
| Maksim. | 91,0                | 84,16                | 8,113  | 1,506                               | 1,798                 | 3,9367                                  | 17,311                 | 0,544310        |
| Średnia | 52,68               | 52,68                | 0,0    | 0,0                                 | 0,0                   | 2,3217                                  | 5,760                  | 0,062555        |
| Mediana | 56,0                | 55,89                | -0,868 | 0,154                               | -0,192                | 2,1939                                  | 4,716                  | 0,026368        |

**Ryc. 67.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej wielowymiarowej postępującej dla grupy kobiet



**Tab. 71.** Wyniki modelu wstecznej regresji wielowymiarowej badającej zależność wybranych parametrów i wieku dla grupy kobiet.

|                     | Wartość |
|---------------------|---------|
| R wielorakie        | 0,9716  |
| Wielorakie R2       | 0,9440  |
| Skorygowane R2      | 0,9359  |
| p                   | 0,00001 |
| Błąd std. estymacji | 5,3826  |

| N=25  | Standaryzowany współczynnik regresji b | Błąd standardowy b | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd standardowy $\beta$ | Statystyka t(62) | p        |
|---|--|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|
| W. wolny  |  |                    | 35,08609                      | 9,575546                 | 3,66413          | 0,001446 |
| X <sub>1</sub> - LICZBA OSTEONÓW                                  | 0,179753                               | 0,054993           | 0,19946                       | 0,061022                 | 3,26868          | 0,003668 |
| X <sub>7</sub> - ŚREDNIA GRUBOŚĆ BLASZEK SYSTEMOWYCH ZEWNĘTRZNYCH | -0,441132                              | 0,073765           | -0,29380                      | 0,049128                 | -5,98020         | 0,000006 |
| X <sub>8</sub> - % OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m               | 0,527732                               | 0,075762           | 1,08739                       | 0,156107                 | 6,96567          | 0,000001 |

$$\text{wiek} = 35,08609 + 0,19946 * X_1 - 0,29380 * X_7 + 1,08739 * X_8 \pm 5,4$$

$$R=0,9716$$

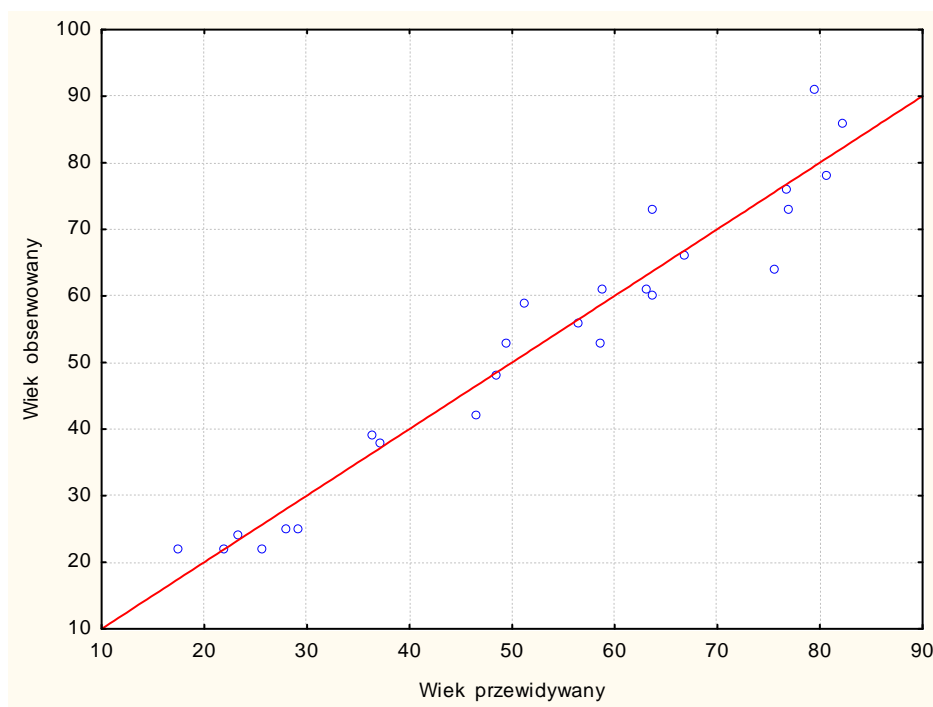
$$R^2=94,4\%$$

$$\text{Skoryg. } R^2=93,59\%$$

**Tab. 72.** Wartości przewidywane i reszty badania zależności wybranych predyktorów modelu wstecznej regresji wielowymiarowej i wieku dla grupy kobiet

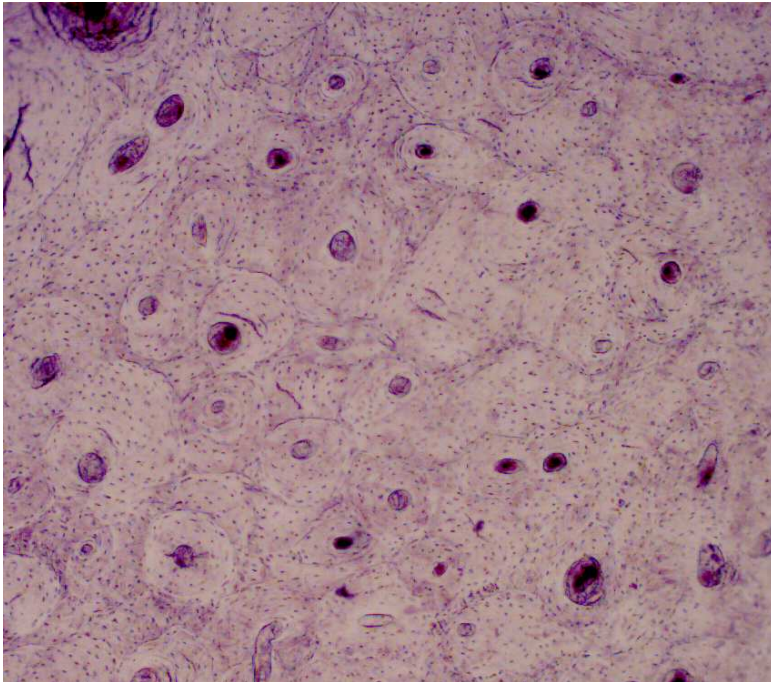
|         | Wartość obserwowana | Wartość przewidywana | Reszta  | Standaryzowana wartość przewidywana | Standaryzowana reszta | Błąd standardowy wartości przewidywanej | Odległość Mahalanobisa | Odległość Cooka |
|---------|---------------------|----------------------|---------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------|
| Minimum | 22,0                | 17,37                | -11,52  | -1,708                              | -2,141                | 1,2372                                  | 0,3079                 | 0,000004        |
| Maksim. | 91,0                | 82,27                | 11,51   | 1,432                               | 2,138                 | 3,6868                                  | 10,299                 | 0,599578        |
| Średnia | 52,68               | 52,68                | 0,0     | 0,0                                 | 0,0                   | 2,0881                                  | 2,8800                 | 0,058350        |
| Mediana | 56,0                | 56,53                | -0,5320 | 0,186                               | -0,098                | 2,0606                                  | 2,5574                 | 0,018544        |

**Ryc. 68.** Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej wielowymiarowej wstecznej dla grupy kobiet

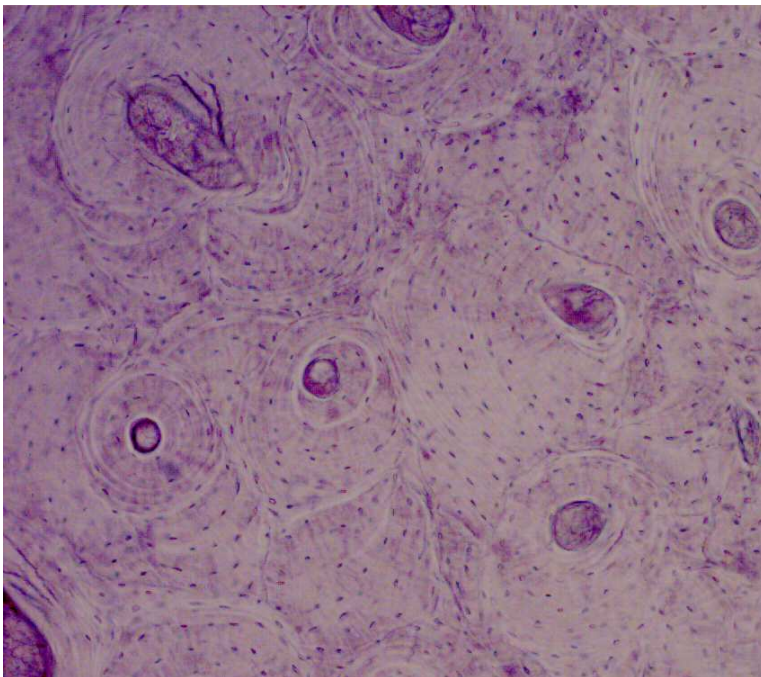


**6.5 Analiza porównawcza szlifów trzonu obojczyka człowieka ze szlifami, wykonanymi ze spalonych próbek kości, oraz ze szlifami kości udowych krowy i świni w świetle przechodzącym mikroskopu oraz w świetle spolaryzowanym przy powiększeniu x50 i x100.**

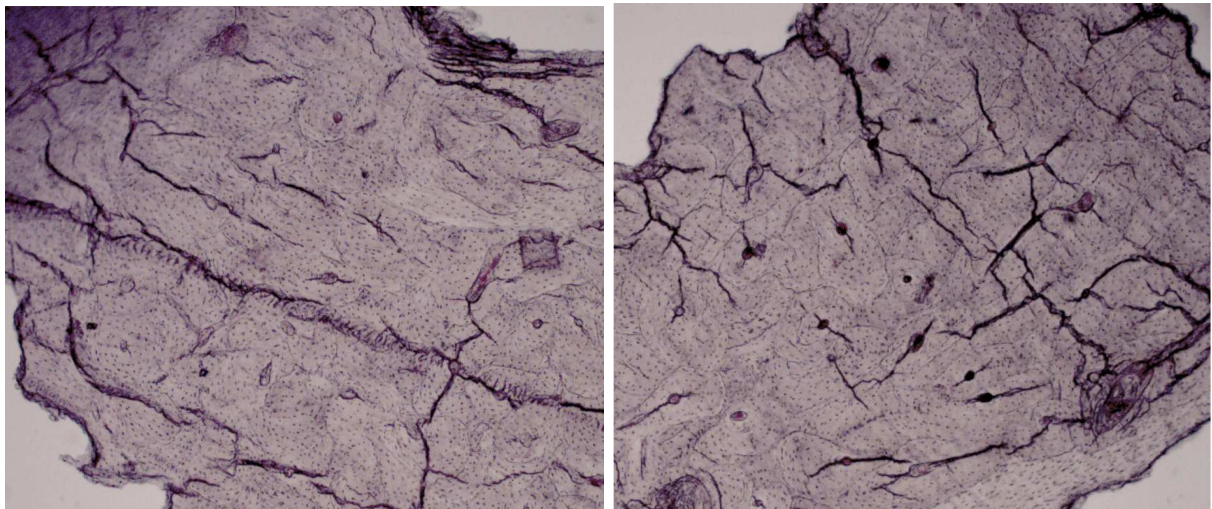
**Fot. 36.** Szlif trzonu obojczyka 59-letniego mężczyzny, światło przechodzące, powiększenie x50



**Fot. 37.** Szlif trzonu obojczyka 59-letniego mężczyzny, światło przechodzące, powiększenie x100



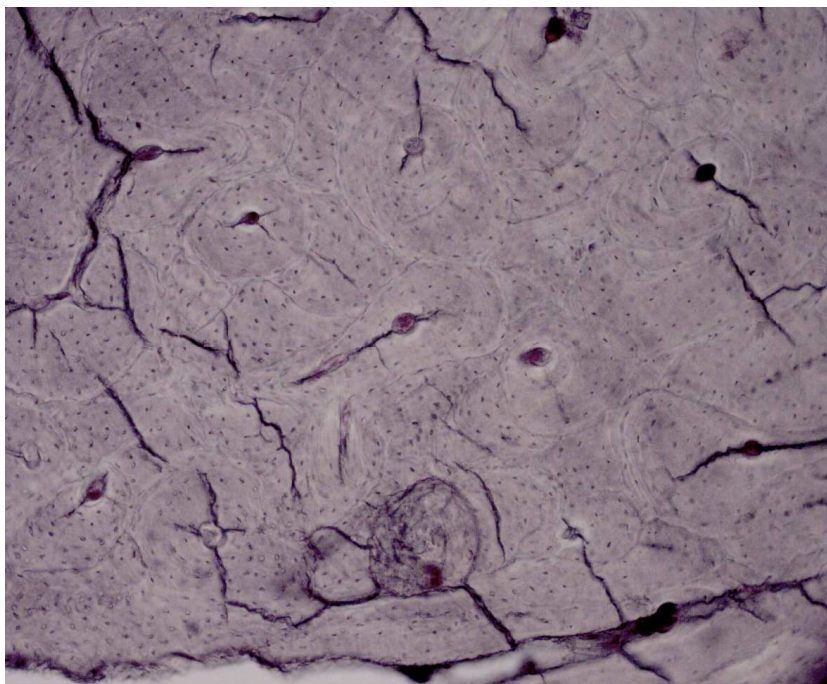
**Fot. 38. (A, B)** Szlif trzonu spalonego obojczyka 22-letniego mężczyzny, światło przechodzące, powiększenie x50



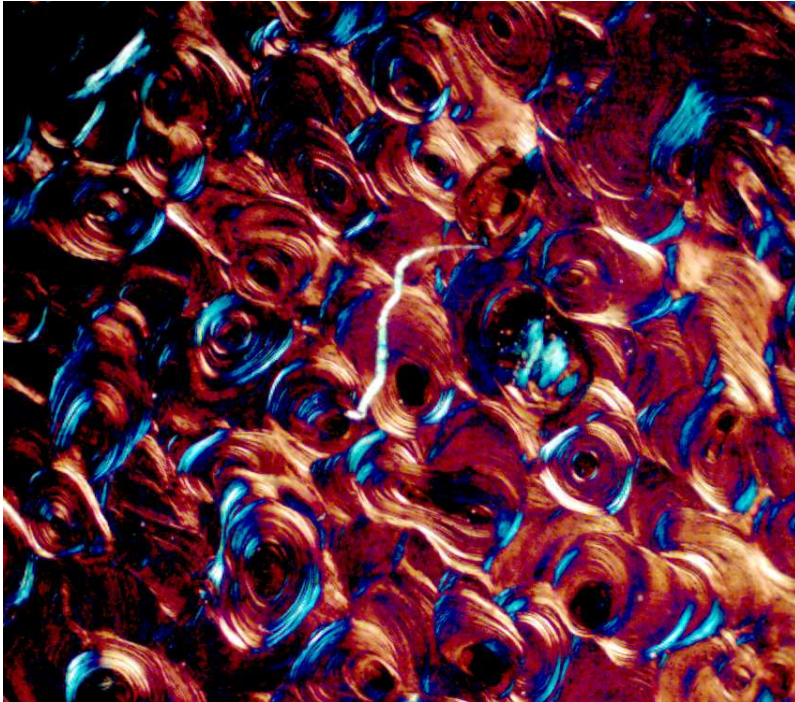
A)

B)

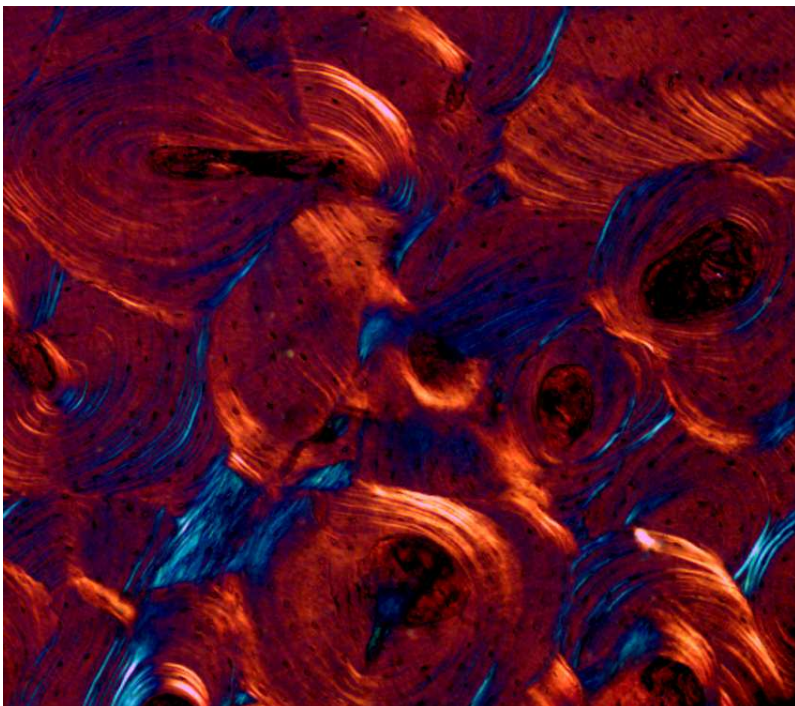
**Fot. 39.** Szlif trzonu spalonego obojczyka 22-letniego mężczyzny, światło przechodzące, powiększenie x100



**Fot. 40.** Szlif trzonu obojczyka 54-letniego mężczyzny, światło spolaryzowane, powiększenie x50



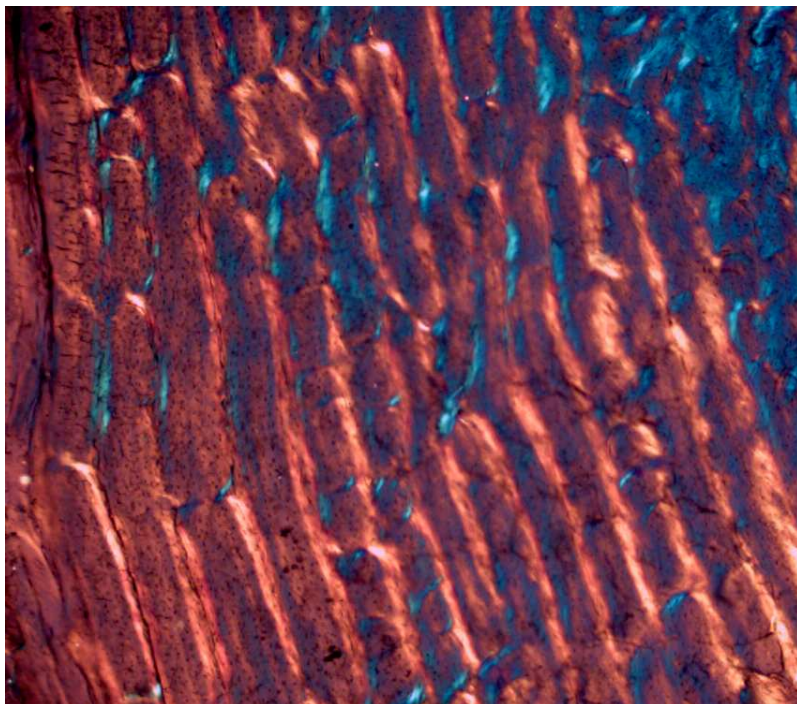
**Fot. 41.** Szlif trzonu obojczyka 54-letniego mężczyzny, światło spolaryzowane, powiększenie x100



**Fot. 42.** Szlif trzonu kości udowej świni, światło przechodzące, powiększenie x50



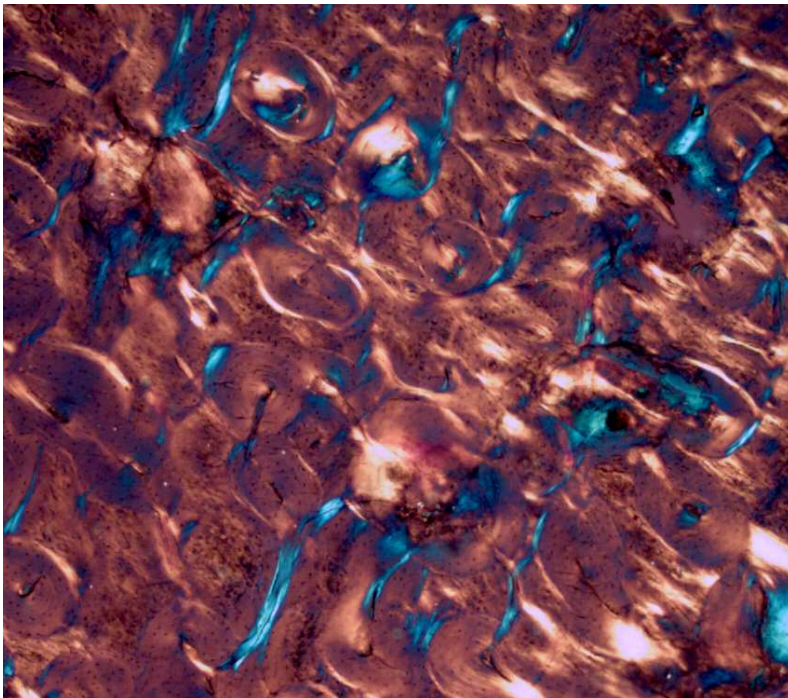
**Fot. 43.** Szlif trzonu kości udowej świni, światło spolaryzowane, powiększenie x50



**Fot. 44.** Szlif trzonu kości udowej krowy, światło przechodzące, powiększenie x50



**Fot. 45.** Szlif trzonu kości udowej krowy, światło spolaryzowane, powiększenie x50



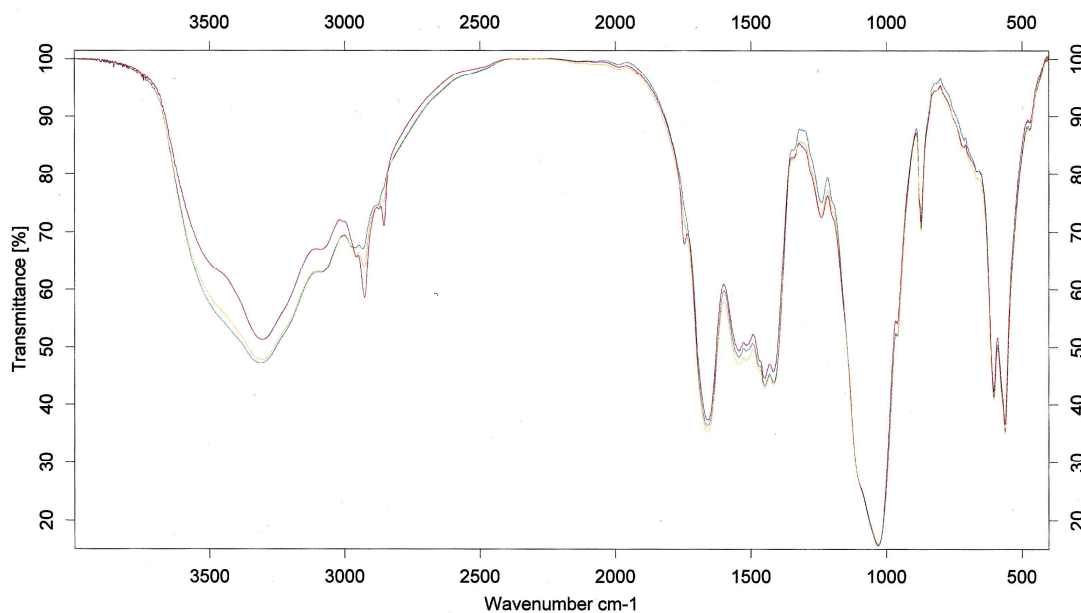


## 6.6 Ocena struktury chemicznej tkanki kostnej.

W badaniach dokonano analizy najbardziej intensywnych pasm absorpcyjnych hydroksyapatytu z uwzględnieniem wybranych liczb falowych ( $\nu = \text{cm}^{-1}$ ) 562, 603, 1032 - charakterystycznych dla jonu  $\text{PO}_4^{-3}$  ; 872, 1451 - charakterystycznych dla jonu  $\text{CO}_3^{-2}$  ; 1662, 2932 - dla ugrupowania polipeptydowego (-CO-NH-) oraz 3318 - dla jonu ( $\text{OH}^-$ ). W ocenie ilościowej niepewność interpretacyjna mogła dotyczyć pasma absorpcji jonu  $\text{OH}^-$  ( $3318 \text{ cm}^{-1}$ ) z uwagi na ewentualny interferencyjny wpływ struktury wody, wykazującej również aktywność absorpcyjną przy tej samej liczbie falowej. Intensywność wybranych pasm analitycznych przy określonej liczbie falowej określono metodą linii podstawowej zgodnie z podanymi wcześniej zasadami postępowania graficznego (rycina 5). Zmiany intensywności pasm absorpcji w zakresie  $400\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$  dla poszczególnych wariantów wykonanych badań modelowych przedstawiają kolejne ryciny 69-72, a obserwowane wartości absorpcji zebrano w tabelach 73-76

### 6.6.1 Zmiany struktury mineralnej obojczyka zachodzące z wiekiem.

**Ryc. 69.** Graficzne przedstawienie intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dla próbek części zbitej obojczyka dzieci w różnym wieku.



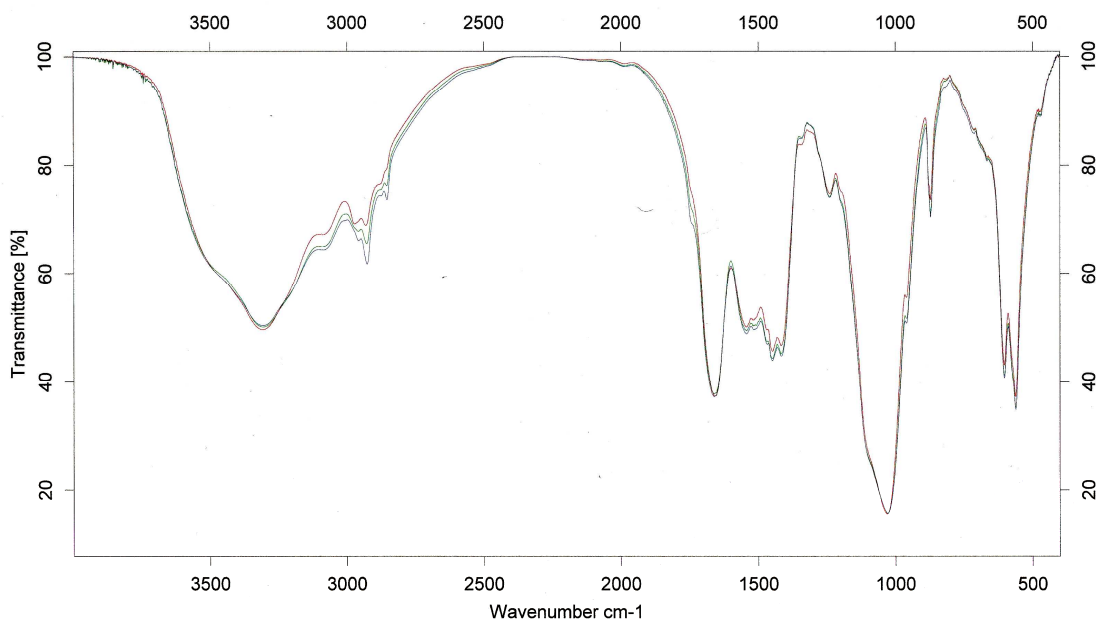
PATH:  
DATE : 2007/12/04  
TIME : 15:04:09 (GMT+1)

SAMPLE : RW  
TECHNIQUE : 2b/KBr200/1.5mg  
USER : Halina Thiel-Pawlicka

**Tab. 73.** Intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dla próbek części zbitej obojczyka dzieci w różnym wieku

| Dzieci,<br>wiek | Wartości absorbancji - wybrane jony hydroksyapatytu, $\nu=\text{cm}^{-1}$ |      |      |                    |      |         |      |               |
|-----------------|---|------|------|--------------------|------|---------|------|---------------|
|                 | $\text{PO}_4^{-3}$  |      |      | $\text{CO}_3^{-2}$ |      | -CO-NH- |      | $\text{OH}^-$ |
|                 | 562   | 603  | 1032 | 872                | 1451 | 1662    | 2932 | 3318          |
| 2               | 0,48  | 0,41 | 1,95 | 0,07               | 0,31 | 0,47    | 0,06 | 0,16          |
| 7               | 0,34  | 0,28 | 1,95 | 0,09               | 0,38 | 0,45    | 0,05 | 0,21          |
| 15              | 0,50  | 0,40 | 1,96 | 0,08               | 0,31 | 0,48    | 0,06 | 0,21          |

**Ryc. 70.** Graficzne przedstawienie intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dla niektórych z wybranych próbek części zbitej obojczyka kobiet w różnym wieku.



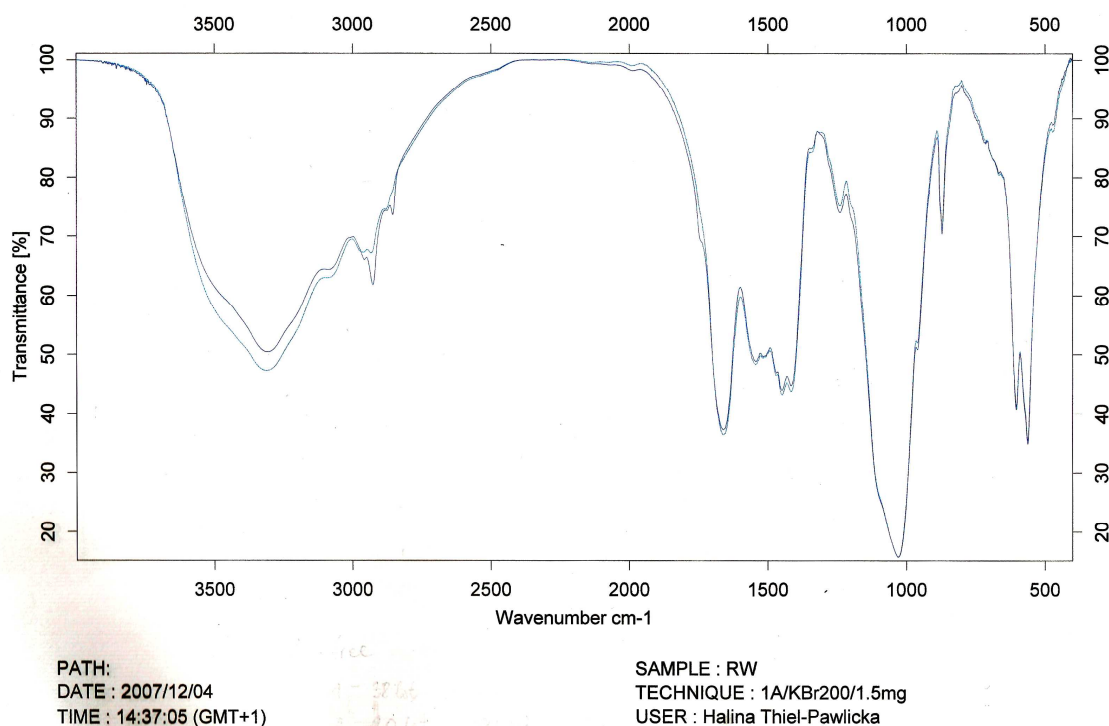
PATH:  
DATE : 2007/12/04  
TIME : 14:37:05 (GMT+1)

SAMPLE : RW  
TECHNIQUE : 1A/KBr200/1.5mg  
USER : Halina Thiel-Pawlicka

**Tab. 74.** Intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dla próbek części zbitej obojczyka kobiet o zróżnicowanym wieku

| Kobiety,<br>wiek lata | Wartości absorbancji - wybrane jony hydroksyapatytu,<br>$\nu=\text{cm}^{-1}$ |      |      |                    |      |         |      |               |
|-----------------------|--|------|------|--------------------|------|---------|------|---------------|
|                       | $\text{PO}_4^{-3}$   |      |      | $\text{CO}_3^{-2}$ |      | -CO-NH- |      | $\text{OH}^-$ |
|                       | 562  | 603  | 1032 | 872                | 1451 | 1662    | 2932 | 3318          |
| 22                    | 0,46   | 0,38 | 1,35 | 0,11               | 0,29 | 0,40    | 0,04 | 0,18          |
| 38                    | 0,42   | 0,36 | 1,34 | 0,08               | 0,31 | 0,41    | 0,04 | 0,21          |
| 48                    | 0,49   | 0,41 | 1,65 | 0,10               | 0,32 | 0,43    | 0,06 | 0,16          |
| 53                    | 0,47   | 0,39 | 1,66 | 0,09               | 0,30 | 0,42    | 0,04 | 0,18          |
| 61                    | 0,47   | 0,39 | 1,95 | 0,10               | 0,32 | 0,41    | 0,06 | 0,19          |
| 86                    | 0,49   | 0,37 | 1,95 | 0,09               | 0,30 | 0,37    | 0,08 | 0,42          |

**Ryc. 71.** Graficzne przedstawienie intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dla niektórych z wybranych próbek części zbitej obojczyka mężczyzn w różnym wieku.

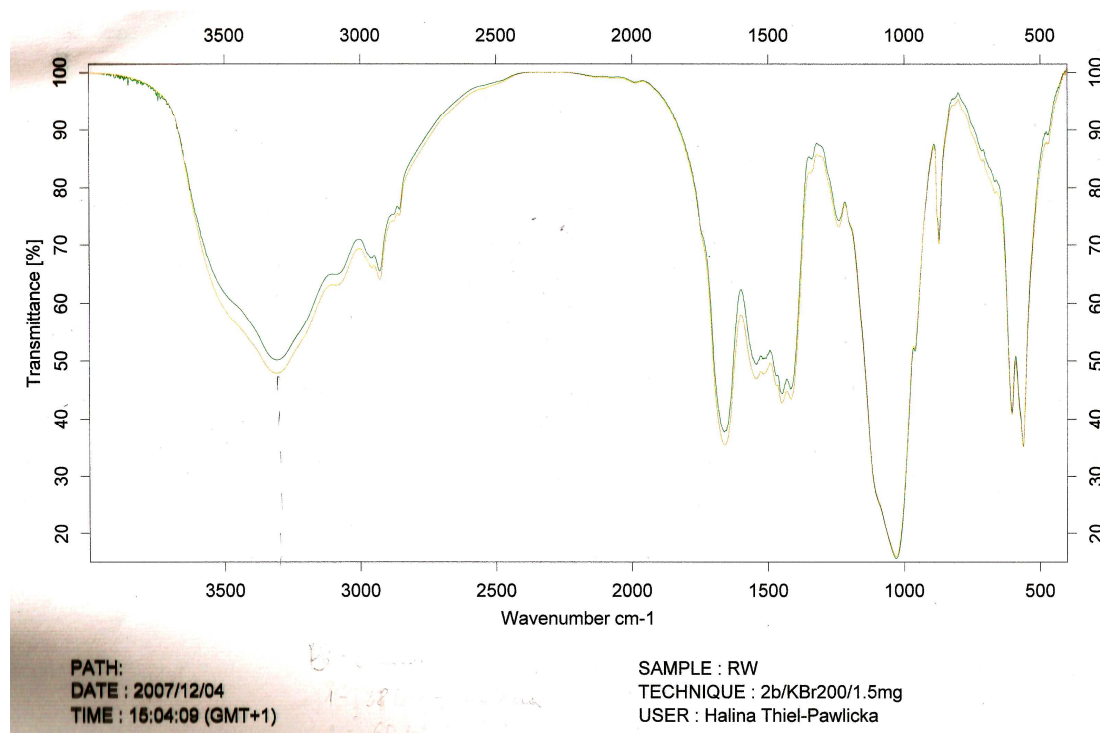


**Tab. 75.** Intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dla próbek części zbitej obojczyka mężczyzn o zróżnicowanym wieku

| Mężczyźni,<br>wiek lata | Wartości absorbancji - wybrane jony hydroksyapatytu,<br>$\nu=\text{cm}^{-1}$ |      |      |                    |      |         |      |                 |
|-------------------------|--|------|------|--------------------|------|---------|------|-----------------|
|                         | $\text{PO}_4^{-3}$   |      |      | $\text{CO}_3^{-2}$ |      | -CO-NH- |      | OH <sup>-</sup> |
|                         | 562  | 603  | 1032 | 872                | 1451 | 1662    | 2932 | 3318            |
| 23                      | 0,43   | 0,38 | 1,95 | 0,08               | 0,33 | 0,46    | 0,06 | 0,28            |
| 32                      | 0,46   | 0,40 | 1,96 | 0,09               | 0,34 | 0,46    | 0,06 | 0,33            |
| 40                      | 0,46   | 0,40 | 1,96 | 0,10               | 0,35 | 0,44    | 0,07 | 0,32            |
| 54                      | 0,47   | 0,40 | 1,96 | 0,11               | 0,33 | 0,36    | 0,11 | 0,30            |
| 62                      | 0,46   | 0,40 | 1,96 | 0,10               | 0,34 | 0,42    | 0,17 | 0,26            |
| 76                      | 0,46   | 0,39 | 1,65 | 0,08               | 0,32 | 0,42    | 0,14 | 0,33            |
| 95                      | 0,46   | 0,40 | 1,96 | 0,10               | 0,32 | 0,42    | 0,16 | 0,26            |

## 6.6.2 Różnice gatunkowe struktur kostnych w badaniach spektrofotometrycznych - IR

Ryc. 72. Graficzne przedstawienie intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dla próbek części zbitej obojczyka człowieka i kości udowej świni.



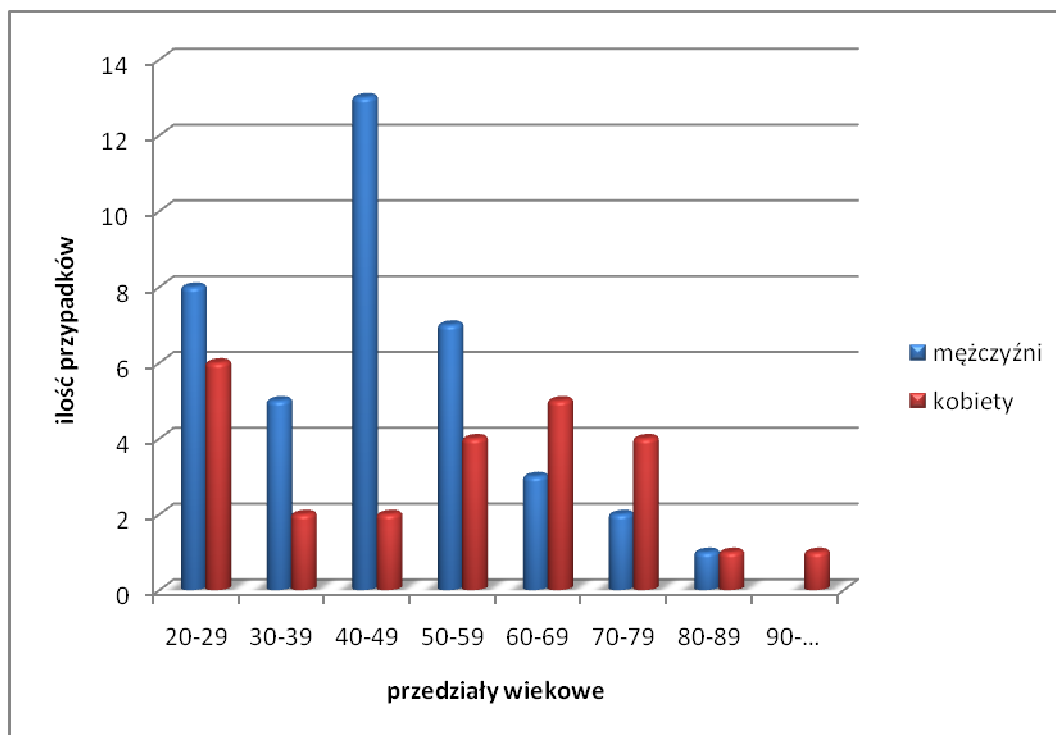
Tab. 76. Intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dla próbek części zbitej obojczyka człowiek i kości udowej krowi, świni i kury.

| Gatunek kości | Wartości absorbancji - wybrane jony hydroksyapatytu, $\nu=\text{cm}^{-1}$ |      |      |                    |      |         |      |               |
|---------------|---|------|------|--------------------|------|---------|------|---------------|
|               | $\text{PO}_4^{-3}$  |      |      | $\text{CO}_3^{-2}$ |      | -CO-NH- |      | $\text{OH}^-$ |
|               | 562   | 603  | 1032 | 872                | 1451 | 1662    | 2932 | 3318          |
| człowieka     | 0,52  | 0,46 | 1,95 | 0,10               | 0,36 | 0,45    | 0,08 | 0,22          |
| wołowa        | 0,48  | 0,39 | 1,94 | 0,10               | 0,30 | 0,44    | 0,05 | 0,20          |
| kurczaka      | 0,49  | 0,41 | 1,96 | 0,09               | 0,28 | 0,42    | 0,05 | 0,20          |
| świni         | 0,43  | 0,42 | 1,93 | 0,09               | 0,31 | 0,39    | 0,05 | 0,16          |

## 7. Dyskusja

W wykonanej pracy eksperymentalnej określono cechy metryczne oraz opisowe szlifów i odwapnionych preparatów obojczyków, które po wszechstronnej, wieloczynnikowej analizie statystycznej miały posłużyć do realizacji podstawowych założeń użytkowych, przydatnych w badaniach identyfikacyjnych medycyny sądowej. W realizowanym programie uwzględniono opracowanie optymalnej metody przygotowania preparatu histologicznego obojczyka dla określenia przynależności gatunkowej szlifów kości oraz wieku osoby identyfikowanej na podstawie morfometrycznego badania szlifów obojczyka. Analogicznie dokonano określenia stopnia zmian w mikrostrukturze kości po jej spaleniu z równoczesną możliwością określenia przynależności gatunkowej kości spalonej.

Wybrany materiał, który posłużył do oceny powyższych zagadnień badawczych stanowiły obojczyki lewe, które były pobrane podczas sekcji zwłok, wykonanych w latach 2005-2007 w Katedrze i Zakładzie Medycyny Sądowej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu, oraz dodatkowo uwzględniano ocenę struktury kości udowej świni oraz kości udowej krowy. Do badań histologicznych zakwalifikowano 64 obojczyki lewe ze zwłok osób obojga płci w wieku od 22 do 91 lat, z których 39 obojczyków pochodziło ze zwłok mężczyzn, 25 - ze zwłok kobiet. Schemat ideowy podany w formie graficznej przedstawia rozkład ilościowy badanego materiału z uwzględnieniem określonych przedziałów wiekowych oraz płci osób badanych.



**Ryc. 73.** Rozkład badanego materiału z uwzględnieniem przedziału wiekowego i płci.

Pierwszym etapem prowadzonych badań było wybranie najbardziej odpowiedniej metody przygotowania preparatów histologicznych, która by pozwoliła ocenić mikromorfometrycznie poszczególne elementy tkanki kostnej. W tym celu zostały przygotowane preparaty histologiczne z trzonów obojczyków pochodzących od osób w wieku 23, 42, 56, 66 oraz 78 lat. Z każdego obojczyka został wykonany szlif kostny oraz trzy preparaty z fragmentów kości odwapnionych różnymi najczęściej stosowanymi metodami, w których użyto wodny roztwór wersenianu sodu 10% ( $C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 \cdot 2H_2O$ ), roztwór 10% wersenianu sodu w formalinie 10%, oraz roztwór równych części stężonego kwasu mrówkowego i alkoholu 70%. Po zakończeniu procesu odwapniania preparaty zabarwiono hematoksyliną i eozyną. Proces przygotowania preparatów odwapnionych kości wymagał znacznego przedziału czasowego od 35 do 50 dni. Procedura przygotowania jednego preparatu szlifu kostnego zajmuje około 7-8 dni.

Po przeprowadzeniu badania porównawczego uzyskanego materiału kostnego stwierdzono, iż większość z preparatów histologicznych przygotowanych z zastosowaniem metody odwapnienia są słabo czytelne, co

przedstawiono na wykonanych zdjęciach (Fot. 1-5, A-D). Wszystkie otrzymane preparaty niezależnie od sposobu przeprowadzenia odwapnienia posiadały artefakty w postaci wzajemnego nakładania się kilku warstw tkanki kostnej na siebie, kruszenia się i rozdzielenia tkanki kostnej na liczne fragmenty, powstawanie niewielkich wolnych przestrzeni w tkance kostnej, niewielkich fragmentów tkanki kostnej o obłych kształtach zauważalnych w przedziałach jednego pola widzenia. Powyższe artefakty i wtórne zniekształcenia uniemożliwiają ocenę tkanki kostnej pod względem przynależności gatunkowej oraz oceny wieku szczątków, ponieważ ograniczają określenie najważniejszych charakterystycznych elementów mikroskopowej struktury tkanki kostnej. Powstanie tak znacznych artefaktów podczas przygotowania preparatów histologicznych może być spowodowane ograniczeniem czasowym procesu odwapniania do 40 dni, jak również niedoskonałością wybranych metod. W diagnostycznej ocenie porównawczej zwracają jednak na siebie uwagę nieodwapnione preparaty histologiczne w postaci szlifów kostnych. W preparatach tych całkowicie niezmiennie zachowana jest struktura histologiczna tkanki kostnej. Jediną niedoskonałością tej metody może być zróżnicowana grubość szlifów kostnych, sięgająca często do 100 $\mu$ m. Jednak zgodnie z wcześniej przeprowadzonymi badaniami [102, 110] ustalono, iż grubość szlifów poniżej 100 $\mu$ m nie ma istotnego wpływu na rzetelność i obiektywność badań mikroosteometrycznych.

Wybranie lewych obojczyków do badań eksperymentalnych była spowodowana powszechnie znanym stwierdzeniem, iż większość populacji jest praworęczna, a mikroobraz tkanki kostnej w znacznym stopniu zależy od efektu siły mechanicznego działania na kość. [26, 46, 47, 85, 98] Powyższy fakt znalazł swoje potwierdzenie również podczas porównania szlifów kostnych wykonanych z różnych części tego samego obojczyka, co wynikało m. in. z porównania szlifów przygotowanego z fragmentu trzonu obojczyka, ze szlifami wykonanymi z fragmentów końca przyśrodkowego i bocznego. Okolice końców obojczyka są najbardziej obciążone działaniem sił mechanicznych ze strony przyczepów mięśni oraz więzadeł. Tak więc w miejscach, które były pobierane do badań, na



obojczyk w okolicy końca bocznego swoje działanie wywierają więzadło stożkowe, oraz mięśnie: naramienny, podobojczykowy, czworoboczny; natomiast w okolicy końca przyśrodkowego więzadło żebrowo-obojczykowe i mięśnie: duży piersiowy, mostkowo-obojczykowo-sutkowy. W miejscu pobieranego fragmentu kości z okolicy trzonu obojczyka działanie mechaniczne wywiera jedynie mięsień podobojczykowy. [17, 92]

Powyższy fakt potwierdziło porównawcze badanie histologiczne 30 szlifów przygotowanych z 10 obojczyków z okolicy trzonu oraz pogranicza trzonu i końców przyśrodkowego i bocznego. Uzyskane wyniki przedstawiono na zdjęciach Fot. 6-35 (A-D).

Dla rutynowego badania morfometrycznego w każdym przypadku wybrano cztery pola widzenia preparatu o powiększeniu x50. Zbadane pola widzenia rozmieszczone na przeciwległych biegunach poprzecznego przekroju kości: przedni, tylny, górny i dolny; tuż przy brzegu zewnętrznym kości obejmowały warstwy blaszek zewnętrznych kości oraz warstwę osteonową kości zbitej. W wyniku przeprowadzonego badania zwrócono uwagę na to iż w poszczególnych polach widzenia szlifów wykonanych z okolicy końców obojczyka liczba osteonów jest znacznie większa, niż w polach widzenia szlifów wykonanych z trzonu, a powierzchnia pola widzenia jest przeważnie zajęta osteonami. W szlifach obojczyków pochodzących od osób starszych co raz większa część powierzchni jest zajmowana przez fragmenty przebudowanych osteonów. W innych polach widzenia szlifów z okolic końców obojczyka liczba osteonów jest bardzo mała, rozmieszczone są nierównomiernie, a większość powierzchni badanego pola widzenia jest zajęta blaszkami kostnymi międzysystemowymi, nawet u osób w starszym wieku. Powyższy fakt znalazł swoje potwierdzenie w badaniach Chan i wsp., którzy stwierdzili istotne różnice w budowie histologicznej i tempie przebudowy w różnych miejscach tej samej kości z powodu odmiennych obciążeń mechanicznych. [26, 85, 110] Ze względu na to, iż gęstość mikrostruktur tkanki kostnej jest niejednorodna pomiędzy różnymi częściami tej samej kości w kolejnych etapach badania były oceniane jedynie szlify wykonane

z trzonu obojczyka, gdzie kość jest w najmniejszym stopniu obciążona czynnikami mechanicznymi.

Istotne znaczenie ma również wymiar analizowanej powierzchni. Jak to wynika z piśmiennictwa rozmiar analizowanej powierzchni szlifowania powinien zależeć od tego, jaką kość pobrano do badania oraz od lokalizacji pobieranego fragmentu. Badania warstwy zbitą kości udowej według jednych danych wymiar powierzchni nie może być mniejszy od  $2,06\text{mm}^2$ , a według innych nie mniej niż  $4\text{mm}^2$ . Ingraham w swoich badaniach obojczyka przeanalizował powierzchnie o wymiarze  $1,46\text{mm}^2$  [18, 85, 95, 109]. W przeprowadzonym badaniu w celu uzyskania większej dokładności i precyzyjności wyników analizie została poddana powierzchnia szlifowania o wymiarze  $29,16\text{mm}^2$ .

Najważniejszym elementem dla precyzyjnego ustalenia wieku szczątków ludzkich jest prawidłowe określenie parametrów obliczanych w badaniach mikromorfometrycznych, które wykazują największą zmienność z wiekiem.

Z przeanalizowanego piśmiennictwa wynika, iż większość z autorów w celu ustalenia wieku szczątków zwracała uwagę na takie cechy mikroosteometryczne, jak:

- liczba osteonów i ich średnia średnica,
- powierzchnia zajmowana przez osteony,
- powierzchnia zajmowana przez fragmenty (pozostałości) po przebudowanych osteonach,
- powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe,
- powierzchnia zajmowana przez blaszki kostne zewnętrzne i wewnętrzne oraz ich grubość,
- rozmiar zatok resorbacyjnych,
- średnice kanałów Haversa,
- odsetek powierzchni zajmowanej przez kanały Haversa,
- stosunek powierzchni zajmowanej przez osteony do ich liczby,

- stosunek powierzchni zajmowanej przez kanały Haversa do ich liczby,
- najmniejsza średnica kanału Haversa w polu widzenia,
- średnia liczba blaszek kostnych przypadających na osteon,
- łączny procentowy udział osteonów i kanałów Haversa w polu widzenia mikroskopu. [3, 15, 20, 26, 31, 34, 37, 54, 55, 57, 66, 72, 74, 78, 93, 97, 99, 100, 103, 109, 110, 114]

Wyniki przeprowadzonych wcześniej badań wskazują na to, iż takie cechy jak ilość osteonów w polu widzenia, powierzchnia zajmowana przez osteony, powierzchnia zajmowana przez fragmenty po przebudowanych osteonach, powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe, powierzchnia zajmowana przez blaszki kostne zewnętrzne i wewnętrzne oraz ich grubość, rozmiar zatok resorbcyjnych, średnice kanałów Haversa wykazują największą korelację zmiennych związanych z wiekiem. Niektórzy badacze przeprowadzali pomiary wielkości i grubości kości. Szczególną uwagę zwracała na siebie klasyfikacja osteonów wtórnych zaproponowana przez rosyjskich naukowców. Jednak z powodu znacznych trudności w różnicowaniu diagnostycznych elementów i form osteonów uwzględnionych w powyższej klasyfikacji, a także z powodu mniejszej dokładności tej metody w badaniach własnych odstąpiłam od uwzględnienia elementów zaproponowanych przez Gladysheva Y. M. [34, 72, 74, 75, 78]

Po przeanalizowaniu aktualnego piśmiennictwa oraz po kompleksowym przeprowadzeniu badań mikroskopowych szlifów kostnych zwróciłam uwagę na to, iż z wiekiem zwiększa się szerokość kanału Haversa. Biorąc pod uwagę to, że najczęściej średnica kanału Haversa wynosi około 50  $\mu\text{m}$ , w swojej pracy zwróciłam uwagę na ilość kanałów Haversa o średnicy powyżej 70  $\mu\text{m}$ . Zwiększenie ilości osteonów z większą średnicą kanałów Haversa można wytłumaczyć zachodzącym z wiekiem zwiększeniem ilości osteonów znajdujących się w fazie resorpcji, kiedy średnica kanału Haversa się zwiększa przez aktywność osteoklastów i resorpcje blaszek osteonowych.

Biorąc pod uwagę powyższe obserwacje w swojej pracy dla oceny wieku szczątków kostnych uwzględniłam takie parametry, jak długość obojczyka, szerokość obojczyka, grubość obojczyka, liczbę osteonów w polu widzenia, liczbę osteonów z kanałem Haversa o średnicy powyżej  $70\mu\text{m}$ , średnią średnicę kanałów Haversa ( $\mu\text{m}$ ), powierzchnię zajmowaną przez blaszki międzysystemowe (%), powierzchnię zajmowaną przez osteony (%), powierzchnię zajmowaną przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach (%), średnią grubość blaszek kostnych zewnętrznych,  $\mu\text{m}$ , stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$  do ogólnej ilości osteonów (%).

Po przeanalizowaniu każdego z uzyskanych parametrów w czterech polach widzenia o łącznej powierzchni  $29,16\text{mm}^2$  uzyskano wyniki szczegółowe, które przedstawione w tabeli nr 2.

Analiza istotności statystycznej wykazała, iż z wybranych jedenastu parametrów najbardziej zmiennymi cechami istotnie różnicującymi wiek są: liczba osteonów w polu widzenia (IOs), liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$  (KH  $>70\mu\text{m}$ ), średnia średnica kanałów Haversa,  $\mu\text{m}$  (śr  $\emptyset$  KH), powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe (PBM %), powierzchnia zajmowana przez osteony (POs %), powierzchnia zajmowana przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach (PFOs %), średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych,  $\mu\text{m}$  (śr GBZ), stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$  do ogólnej ilości osteonów (KH  $>70\mu\text{m}$ , %). Poziom istotności statystycznej dla oceny każdego z tych parametrów wyniósł  $p < 0,00001$ .

Statystycznie istotne parametry zostały poddane analizie zmienności zachodzącej z wiekiem przy użyciu funkcji regresji liniowej jednowymiarowej pozwalającej określić wiek szczątków z nieustaloną płcią oraz z uwzględnieniem płci. Dla określenia potencjalnej diagnostycznej wartości użytkowej została obliczona również czułość metody dla każdej ze zbadanych cech. Współczynniki regresji liniowej jednowymiarowej dla wybranych parametrów diagnostycznych przedstawiono w tabeli 78.

**Tab. 77.** Współczynniki regresji liniowej jednowymiarowej dla każdego z wybranych parametrów diagnostycznych.

|             | Grupa ogólna       |                         | Mężczyźni          |                         | Kobiety            |                         |
|-------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
|             | R <sup>2</sup> , % | R <sup>2</sup> skor., % | R <sup>2</sup> , % | R <sup>2</sup> skor., % | R <sup>2</sup> , % | R <sup>2</sup> skor., % |
| IOs         | 34,3               | <b>33,3</b>             | 46,01              | <b>44,55</b>            | 22,61              | <b>19,24</b>            |
| KH >70μm    | 76,62              | <b>76,25</b>            | 73,78              | <b>73,09</b>            | 83,05              | <b>82,31</b>            |
| śr Ø KH     | 82,33              | <b>82,04</b>            | 80,27              | <b>79,73</b>            | 83,62              | <b>82,91</b>            |
| PBM         | 75,33              | <b>74,93</b>            | 73,13              | <b>72,40</b>            | 80,96              | <b>80,13</b>            |
| POs         | 35,94              | <b>34,90</b>            | 42,46              | <b>40,90</b>            | 75,66              | <b>74,60</b>            |
| PFOs        | 73,74              | <b>73,32</b>            | 74,06              | <b>73,36</b>            | 86,70              | <b>86,12</b>            |
| śr GBZ      | 62,66              | <b>62,06</b>            | 55,36              | <b>54,15</b>            | 74,77              | <b>73,67</b>            |
| KH >70μm, % | 76,81              | <b>76,44</b>            | 74,12              | <b>73,42</b>            | 81,71              | <b>80,92</b>            |

Jak to wynika z powyższej tabeli, najlepszymi predyktorami wieku z zastosowaniem funkcji regresji liniowej jednowymiarowej jak w grupie ogólnej, tak i dla każdej z płci są: średnia średnica kanałów Haversa, liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70μm, stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70μm do ogólnej ilości osteonów, odsetek powierzchni zajmowanej przez blaszki międzysystemowe, odsetek powierzchni zajmowanej przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach. Równocześnie należy zwrócić uwagę na fakt, iż w grupie kobiet, każdy z tych parametrów wykazuje nieco lepszą czułość diagnostyczną. Powyższe zbieżności mogą być związane z bardziej intensywnie postępującymi zmianami w utkaniu kostnym, które zachodzą z wiekiem w organizmie kobiet pod wpływem zmian hormonalnych w okresie menopauzalnym i postmenopauzalnym, jak również z większą liczebnością grupy kobiet w przedziałach wiekowych powyżej 60-go roku życia.

W celu weryfikacji pojedynczych przypadków mocno różniących się swoją wartością od typowych, została przeprowadzona analiza reszt. Taka analiza pozwala wychwycić nietypowe obserwacje, a następnie ocenić te przypadki dla stwierdzenia, czy wyznaczona wartość znacznie różniąca się od typowej jest

spowodowana artefaktem w przygotowaniu próby, czy wynika z innych zewnętrznych przyczyn, a więc czy dany przypadek należy wykluczyć z grupy badawczej, co zwiększy dodatkowo precyzyjność wyników, czy jednak jest to spowodowane naturalnie postępującymi zmianami w organizmie człowieka, a wykluczenie takiej obserwacji spowoduje niewiarygodność wyników. Przeprowadzona w tej pracy analiza reszt wykazała, iż w wyniku oceny każdej z cech, skrajne wartości były stwierdzone w różnych próbach, co najprawdopodobniej było uwarunkowane naturalnie zachodzącymi zmianami w organizmie człowieka, a nie artefaktem podczas wykonania próby. W wyniku tej oceny ustalono, że z grupy badawczej nie był wyeliminowany żaden z analizowanych przypadków.

Dla każdej ze zbadanych cech opisujących daną wartość (predyktorów) dla grupy ogólnej oraz dla grup z uwzględnieniem płci zostały obliczone współczynnik wolny ( $\beta_0$ ), oraz współczynnik korelacji ( $\beta$ ) konkretnego modelu, błąd standardowy estymacji ( $\varepsilon$ ). Powyższe wyniki zostały przedstawione w tabeli 79.

**Tab. 78.** Zbiorcze zestawienie estymacji wieku analizą regresji jednowymiarowej.  
 $wiek = \beta_0 + \beta X + \varepsilon$

|  | Wyraz wolny $\beta_0$ | Współczynnik regresji $\beta$ | Błąd estymacji $\varepsilon$ | Współczynnik korelacji R | Współczynnik determinacji $R^2, \%$ | Skorygowany współczynnik determinacji $R^2, \%$ |
|--|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---|
| LICZBA OSTEONÓW                                      | -14,037               | 0,528                         | 14,9                         | 0,5854                   | 34,3                                | 33,3  |
| mężczyźni  | -13,185               | 0,503                         | 11,5                         | 0,6783                   | 46,01                               | 44,55   |
| kobiety  | -10,866               | 0,528                         | 19,1                         | 0,4755                   | 22,61                               | 19,24   |
| LICZBA OSTEONÓW O ŚREDNICY $> 70\mu\text{m}$         | 27,279                | 1,240                         | 8,9                          | 0,8754                   | 76,62                               | 76,25   |
| mężczyźni  | 30,176                | 1,145                         | 8,0                          | 0,8591                   | 73,78                               | 73,09   |
| kobiety  | 17,934                | 1,537                         | 8,9                          | 0,9113                   | 83,05                               | 82,31   |
| ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA                     | -8,292                | 1,122                         | 7,7                          | 0,9073                   | 82,33                               | 82,04   |
| mężczyźni  | -5,329                | 1,075                         | 6,9                          | 0,8959                   | 80,27                               | 79,73   |
| kobiety  | -14,538               | 1,213                         | 8,8                          | 0,9145                   | 83,62                               | 82,91   |
| % POWIERZCHNI BLASZEK MIĘDZYSYSTEMOWYCH              | 69,870                | -1,738                        | 9,1                          | 0,8679                   | 75,33                               | 74,93   |
| mężczyźni  | 66,392                | -1,476                        | 8,1                          | 0,8552                   | 73,13                               | 72,40   |
| kobiety  | 73,986                | -2,230                        | 9,5                          | 0,8998                   | 80,96                               | 80,13   |
| % POWIERZCHNI OSTEONÓW BEZ PRZEBUDOWY                | 87,836                | -1,395                        | 14,7                         | 0,5995                   | 35,94                               | 34,90   |
| mężczyźni  | 78,923                | -1,283                        | 11,8                         | 0,6516                   | 42,46                               | 40,90   |
| kobiety  | 139,417               | -2,722                        | 10,7                         | 0,8698                   | 75,66                               | 74,60   |
| % POWIERZCHNI FRAGMENTÓW PO PRZEBUDOWANYCH OSTEONACH | -15,158               | 1,074                         | 9,4                          | 0,8587                   | 73,74                               | 73,32   |
| mężczyźni  | -7,895                | 0,896                         | 7,9                          | 0,8605                   | 74,06                               | 73,36   |
| kobiety  | -27,604               | 1,370                         | 7,9                          | 0,9311                   | 86,70                               | 86,12   |
| ŚREDNIA GRUBOŚĆ BLASZEK KOSTNYCH ZEWNĘTRZNYCH        | 89,756                | -0,407                        | 11,2                         | 0,7916                   | 62,66                               | 62,06   |
| mężczyźni  | 81,352                | -0,328                        | 10,4                         | 0,7440                   | 55,36                               | 54,15   |
| kobiety  | 104,041               | -0,576                        | 10,9                         | 0,8647                   | 74,77                               | 73,67   |
| % OSTEONÓW O ŚREDNICY $> 70\mu\text{m}$              | 26,229                | 1,617                         | 8,8                          | 0,8764                   | 76,81                               | 76,44   |
| mężczyźni  | 28,303                | 1,599                         | 7,9                          | 0,8610                   | 74,12                               | 73,42   |
| kobiety  | 18,811                | 1,863                         | 9,3                          | 0,9039                   | 81,71                               | 80,92   |

Wszystkie z zweryfikowanych modeli regresji liniowej jednowymiarowej można wykorzystać do predykcji wieku przy użyciu odpowiedniego równania:

$$wiek = \beta_0 + \beta X + \varepsilon$$

Statystycznie istotne parametry zostały również poddane analizie przy użyciu funkcji regresji liniowej wielowymiarowej w celu bardziej precyzyjnego ustalenia wieku szczątków kostnych z nieustaloną płcią oraz z uwzględnieniem znanej płci.

W modelu regresji wielowymiarowej wykonano obliczenie równania liniowego trzema metodami: metodą standardową tj. uwzględniającą wszystkie predyktory; metodą krokową postępującą, która dołącza do modelu te predyktory, które mają największy wpływ na wiek, ale są najslabiej skorelowane między sobą; oraz metodą krokową wsteczną, która usuwa z modelu zbudowanego ze wszystkich predyktorów w kolejnych krokach te, które mają najmniejszy wpływ na wiek. Równocześnie została obliczona czułość dla każdej z zastosowanych metod. Powyższe wyniki są przedstawione zbiorczo w tabelach nr 80-82, w których uwzględniono następujące parametry diagnostyczno-pomiarowe:

$X_1$  - liczba osteonów,

$X_2$  - liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$ ,

$X_3$  - średnia średnica kanałów Haversa,  $\mu\text{m}$ ,

$X_4$  - powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe (%),

$X_5$  - powierzchnia zajmowana przez osteony (%),

$X_6$  - powierzchnia zajmowana przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach (%),

$X_7$  - średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych,  $\mu\text{m}$ ,

$X_8$  - stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$  do ogólnej ilości osteonów (%).

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$  - parametry liniowej funkcji regresji oszacowane na podstawie 64-elementowej próby, składającej się z par obserwacji  $(x_i, y_i)$ ,

$i$  - ilość badanych cech wykazujących istotność statystyczną,

$\varepsilon$  - błąd standardowy estymacji,



$R$  – współczynnik korelacji wielowymiarowej

$R^2$  – współczynnik determinacji – mówi on o procencie wyjaśnionej zmienności wieku przez daną cechę w próbie,

$R^2$  skorygowane – korekcja współczynnika determinacji na całą populację.

Wszystkie ze zweryfikowanych modeli regresji liniowej można wykorzystać do ustalenia szacunkowego wieku przy użyciu wykresu typowego liniowego równania regresyjnego:  $\text{wiek} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \varepsilon$

**Tab. 79.** Zbiorcze zestawienie estymacji wieku analizą regresji wielowymiarowej dla grupy ogólnej

|   | Współczynniki regresji liniowej, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$ |             |          |
|---|--|-------------|----------|
|   | standardowa  | postępująca | wsteczna |
| LICZBA OSTEONÓW , X1                                      | 0,104  | -           | -        |
| LICZBA OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu\text{m}$ , X2        | -0,371   | -           | -        |
| ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA , X3                     | 0,301  | 0,369897    | 0,6869   |
| % POWIERZCHNI BLASZEK MIĘDZYSYSTEMOWYCH , X4              | 1,219  | -           | -        |
| % POWIERZCHNI OSTEONÓW BEZ PRZEBUDOWY, X5                 | 1,071  | -           | -        |
| % POWIERZCHNI FRAGMENTÓW PO PRZEBUDOWANYCH OSTEONACH , X6 | 1,507  | 0,400192    | 0,4470   |
| ŚREDNIA GRUBOŚĆ BLASZEK KOSTNYCH ZEWNĘTRZNYCH , X7        | -0,044   | -0,46149    | -        |
| % OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu\text{m}$ , X8             | 0,996  | 0,459456    | -        |
| Wyraz wolny $\beta_0$                                     | -116,734   | 4,441096    | -13,5053 |
| Błąd estymacji $\varepsilon$                              | 5,4  | 5,2         | 5,4      |
| Współczynnik korelacji wielowymiarowej R                  | 0,95030  | 0,94759     | 0,9393   |
| Współczynnik determinacji $R^2$ , %                       | 90,31  | 89,79       | 88,23    |
| Skorygowany współczynnik determinacji $R^2$ , %           | 87,72  | 88,59       | 87,57    |

**Tab. 80.** Zbiorcze zestawienie estymacji wieku analizą regresji wielowymiarowej dla grupy mężczyzn

|   | Współczynniki regresji liniowej, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$ |             |          |
|---|--|-------------|----------|
|   | standardowa  | postępująca | wsteczna |
| LICZBA OSTEONÓW , X1                                      | 0,1212   | -           | -        |
| LICZBA OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m , X2              | -0,5642  | -           | -        |
| ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA , X3                     | 0,3911   | 0,39253     | 0,75743  |
| % POWIERZCHNI BLASZEK MIĘDZYSYSTEMOWYCH , X4              | -1,2036  | -           | -        |
| % POWIERZCHNI OSTEONÓW BEZ PRZEBUDOWY, X5                 | -1,5410  | -0,26129    | -0,52798 |
| % POWIERZCHNI FRAGMENTÓW PO PRZEBUDOWANYCH OSTEONACH , X6 | -1,0449  | 0,24940     | -        |
| ŚREDNIA GRUBOŚĆ BLASZEK KOSTNYCH ZEWNĘTRZNYCH , X7        | -0,0965  | -0,10018    | -0,13313 |
| % OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m , X8                   | 1,1585   | 0,48945     | -        |
| Wyraz wolny   | 138,6162   | 24,82576    | 38,78574 |
| Błąd estymacji $\epsilon$                                 | 5,6  | 5,6         | 6,0      |
| Współczynnik korelacji wielowymiarowej R                  | 0,95773  | 0,9557      | 0,9470   |
| Współczynnik determinacji R <sup>2</sup> , %              | 91,72  | 91,35       | 89,68    |
| Skorygowany współczynnik determinacji R <sup>2</sup> , %  | 90,52  | 90,60       | 89,16    |

**Tab. 81.** Zbiorcze zestawienie estymacji wieku analizą regresji wielowymiarowej dla grupy kobiet

|   | Współczynniki regresji liniowej $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$ |             |          |
|---|---|-------------|----------|
|   | standardowa   | postępująca | wsteczna |
| LICZBA OSTEONÓW , X1                                      | 0,716   | 0,6009      | 0,19946  |
| LICZBA OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m , X2              | -2,747  | -2,6822     | -        |
| ŚREDNIA ŚREDNICA KANAŁÓW HAVERSA , X3                     | 0,434   | 0,4828      | -        |
| % POWIERZCHNI BLASZEK MIĘDZYSYSTEMOWYCH , X4              | 3,803   | -           | -        |
| % POWIERZCHNI OSTEONÓW BEZ PRZEBUDOWY, X5                 | 3,226   | -           | -        |
| % POWIERZCHNI FRAGMENTÓW PO PRZEBUDOWANYCH OSTEONACH , X6 | 3,527   | 0,1508      | -        |
| ŚREDNIA GRUBOŚĆ BLASZEK KOSTNYCH ZEWNĘTRZNYCH , X7        | -0,304  | -0,2685     | -0,29380 |
| % OSTEONÓW O ŚREDNICY > 70 $\mu$ m , X8                   | 3,414   | 3,1472      | 1,08739  |
| Wyraz wolny $\beta_0$                                     | -376,336  | -27,9627    | 35,08609 |
| Błąd estymacji $\epsilon$                                 | 4,5   | 4,5         | 5,4      |
| Współczynnik korelacji wielowymiarowej R                  | 0,98492   | 0,98298     | 0,9716   |
| Współczynnik determinacji R <sup>2</sup> , %              | 97,0  | 96,62       | 94,4     |
| Skorygowany współczynnik determinacji R <sup>2</sup> , %  | 95,51   | 95,50       | 93,59    |

Jak to wynika z powyższych tabel nr 80-82 przy zastosowaniu równania regresji wielowymiarowej dla predykcji wieku z uwzględnieniem wszystkich istotnych statystycznie parametrów skorygowany współczynnik determinacji wielowymiarowej jest bardzo wysoki i wynosi 90,52% dla grupy bez uwzględnienia płci szczątków, dla grupy męskiej wynosi 87,72%, a kobiecej - 95,51%, a błąd estymacji wynosi  $\pm 5,6$  lat w grupie ogólnej,  $\pm 5,4$  lata w grupie męskiej, a w grupie kobiecej  $\pm 4,5$  lata.

Przy zastosowaniu metody krokowej postępującej w grupie ogólnej zostały wyeliminowane takie parametry, jak liczba osteonów w polu widzenia, liczba osteonów z kanałem Haversa powyżej  $70\mu\text{m}$ , oraz procentowy udział powierzchni blaszek międzysystemowych. W grupie męskiej dodatkowo do tych parametrów został wyeliminowany również procentowy udział powierzchni osteonów bez przebudowy. Z kolei w grupie kobiecej zostały wyeliminowane jedynie takie parametry, jak procentowy udział powierzchni blaszek międzysystemowych i osteonów bez przebudowy. Powyższe korekty w każdej z grup spowodowały niewielki, poniżej 1%, spadek współczynnika determinacji i nie spowodowało wzrostu błędu estymacji.

Przy zastosowaniu metody krokowej wstecznej w grupie ogólnej były uwzględnione jedynie średnie wartości średnicy kanałów Haversa, procentowy udział powierzchni osteonów bez przebudowy oraz średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych, co spowodowało niewielki spadek współczynnika determinacji na około 2% w stosunku do metody standardowej, a błąd estymacji wzrósł z  $\pm 5,6$  lat do  $\pm 6$  lat.

W męskiej grupie osobniczej w wyniku zastosowania metody krokowej wstecznej zostały uwzględnione takie parametry, jak średnia średnica kanałów Haversa, procentowy udział powierzchni fragmentów po przebudowanych osteonach oraz średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych, w wyniku czego współczynnik determinacji zmniejszył się również do około 2% w stosunku do metody standardowej, a błąd estymacji w porównaniu do metody standardowej został ten sam  $\pm 5,4$  roku.

W kobiecej grupie po zastosowaniu metody krokowej wstecznej dla określenia wieku były pozostawione takie parametry, jak liczba osteonów, średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych oraz procentowy udział liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy powyżej 70 $\mu$ m do ogólnej liczby osteonów, w wyniku czego współczynnik determinacji zmniejszył się na 2,6% w stosunku do metody standardowej do wartości 94,4%, a błąd estymacji wzrósł z  $\pm 4,5$  roku do  $\pm 5,4$  lat.

Badania prowadzone przez Kerley, uznanego za pioniera w ustaleniu wieku poprzez badania struktury mikroskopowej kości udowej wykazały, iż biorąc pod uwagę takie parametry, jak liczba całkowitych osteonów, liczba fragmentów zresorbowanych osteonów, powierzchnia międzysystemowych blaszek kostnych oraz liczba kanałów niehaversowskich były uzyskane wystarczająco wysokie wartości współczynnika determinacji - 95%, jednak błąd estymacji wynosił  $\pm 10$  lat. [54, 55] Simon w swoich badaniach mikroskopowych kości potylicznej uwzględniał tylko liczbę osteonów pierwotnych, wtórnych oraz procentowy udział powierzchni zajmowanej przez fragmenty po przebudowanych osteonach oraz zajmowanej przez blaszki międzysystemowe. W wyniku takiego postępowania uzyskano dosyć niską wartość współczynnika determinacji - 45,3%, co można wytłumaczyć bardzo małą liczebnością grupy - 17 mężczyzn w wieku od 20 lat do 70 lat. [72, 78] Prowadzone przez Nainisa badania mikrostruktury kości śródreżca osób obojga płci w wieku od 1 roku do 90 lat uwzględniały 21 parametrów, które wykazywały bardzo wysokie wartości współczynnika korelacji 90%, a błąd estymacji wynosił  $\pm 7,53$  lat. W wyniku badań kości czołowych prowadzonych przez Zwiagina, który uwzględniał od 11 do 33 parametrów mikroskopowej budowy tkanki kostnej, uzyskano współczynnik determinacji od 74,1% do 84,8% w zależności od ilości uwzględnianych parametrów, a błąd estymacji wynosił odpowiednio od  $\pm 4,3$  lat do  $\pm 5,8$  lat. [74] Badania prowadzone przez Nainisa oraz Zwiagina mają wysoki współczynnik determinacji i stosunkowo mały błąd estymacji, jednak poważną wadą zaproponowanych przez nich postępowań jest to, iż uwzględniane w badaniach parametry są obliczane według klasyfikacji osteonów wtórnych

zapropionowanej przez Gladysheva. Jak to potwierdzono przez innych naukowców występują w tym przypadku poważne trudności podczas różnicowania elementów i form osteonów, co może prowadzić do błędnego obliczania i fałszywego oszacowania wieku szczątków korzystając z powyższej metody [72, 75]. Ingraham w swoich badaniach uwzględniał 4 parametry utkania mikroskopowego obojczyka: liczbę osteonów pierwotnych, osteonów wtórnych, procentowy udział powierzchni zajętej przez blaszki międzysystemowe oraz procentowy udział powierzchni zajętej przez fragmenty pozostałości po przebudowanych osteonach wtórnych. W wyniku wyprowadzenia równań regresji liniowej oraz regresji logarytmicznej zostały uzyskane wyniki, według których współczynnik determinacji wynosił 87,1% a standardowy błąd estymacji był w granicach  $\pm 6,7$  lat. [48]

Badania przeprowadzone przeze mnie wykazały, iż wszystkie z uwzględnianych parametrów mikroskopowych są dość łatwe do określenia oraz obliczenia, a dla uzyskania wyniku z błędem estymacji wynoszącym do  $\pm 6$  lat wystarczającym jest uwzględnienie jedynie trzech parametrów mikroosteometrycznych. Dla uzyskania większej dokładności ustalenia wieku należy ustalić płeć szczątków przed wykonaniem badań mikroosteometrycznych, a następnie uwzględnić i wykorzystać wszystkie z obliczanych parametrów, co powoduje wzrost współczynnika determinacji do 91-97%, a standardowy błąd estymacji zmniejsza się do  $\pm 4,5-5,6$  lat w zależności od zastosowanej metody.

W celu identyfikacji gatunkowej kości w pracy porównano mikroskopowy układ tkanki kostnej obojczyka człowieka z tkanką kostną kości udowych świni i krowy. Jeden z zabezpieczonych fragmentów kości człowieka był poddany obróbce termicznej w celu stwierdzenia możliwości identyfikacji gatunkowej kości po jej spaleniu do szarego spoielenia. Badania porównawcze szlifów wykazały, iż dla kości człowieka powyżej 20 roku życia charakterystyczne są takie cechy, jak kierunek przebiegu kanałów Haversa, który jest zawsze równoległy do długiej osi kości, bądź pod niewielkim kątem do niej, całkowite zastąpienie tkanki kostnej grubowłóknistej, tkanką blaszkowatą, z rozmieszczeniem osteonów wtórnych na całej powierzchni szlifów, zajęcie tkanką

kostną blaszkowatą odcinków pomiędzy poszczególnymi osteonami (tzw. blaszki międzysystemowe). Równocześnie obserwowano wielokrotną przebudowę zdecydowanej większości osteonów wtórnych, pojedyncze, rzadko spotykane kanały Folkmana (kanały łączące między sobą kanały Haversa), które są spotykane jedynie w warstwie centralnej kości. Wśród cech stwierdzonych podczas badania histologicznego kości świni i krowy zwrócono uwagę na takie podstawowe cechy wyróżniające gatunkowo kość, jak przebieg kanałów osteonów wtórnych, który jest równoległy do długiej osi kości, jak i poprzeczny, czasami kanały osteonów układają się w kształcie sieci. Stwierdza się również brak bądź rzadko spotykane cechy przebudowy osteonów wtórnych, obecność wysepek tkanki grubowłóknistej pomiędzy obszarami tkanki blaszkowatej w warstwie środkowej poprzecznego przekroju kości, znaczna ilość kanałów Folkmana rozmieszczonych we wszystkich warstwach kości. W wyniku badania histologicznego szlifów kości człowieka wykonanego po jej wcześniejszym spaleniu w temperaturze do powstania szarego spoiwiska stwierdzono, że temperatura bezwzględnie wpływa degeneracyjnie na tkankę kostną powodując jej wysuszenie i zniszczenie organicznego (białkowo-lipidowego) komponentu kości, stwierdza się pęknięcia tkanki kostnej przechodzące od jej zewnętrznej warstwy w kierunku części centralnej, a szczeliny pęknięć łączą poszczególne kanały Haversa między sobą. Ponadto obserwuje się zniszczenie i wykruszenie zewnętrznych warstw kości. Powyższe zmiany strukturalno-histologiczne uniemożliwiają przeprowadzenie oceny typowych struktur, jak szerokość blaszek kostnych zewnętrznych oraz szerokość osteonów. Ograniczenia dotyczą również oceny procentowego udziału poszczególnych elementów kości na jej powierzchni, co uniemożliwia precyzyjne ustalenie wieku szczątków. Jednak należy zauważyć, że nadal zachowane są możliwe dla oceny takie cechy, jak równoległy do długiej osi kości przebieg kanałów Haversa, rozmieszczenie osteonów wtórnych na całej powierzchni szlifów i wielokrotna przebudowa ich zdecydowanej większości, obecność blaszek międzysystemowych, brak bądź rzadko spotykane kanały Folkmana. Powyższe obserwacje potwierdzają, iż nawet

po ujawnieniu szczątków w postaci kości w stanie szarego spopielenia nadal możliwym jest przeprowadzenie oceny i określenia przynależności gatunkowej.

Analizie z wykorzystaniem spektrofotometrii w podczerwieni poddano 20 próbek, które zostały przygotowane z fragmentów części zbitej obojczyków osób obojga płci w wieku od 2 miesięcy do 95 lat. Dla celów porównawczych, przeanalizowano próbki pochodzące z fragmentów kości kury, krowy i świni.

Przeprowadzone badania dotyczyły wykorzystania spektrofotometrii w podczerwieni (IR-FT) w fazie stałej (KBr) w zakresie liczby falowej 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dla celu szybkiej identyfikacji struktury chemicznej kości przydatnej w rozstrzygnięciu rutynowych problemów sędowo-lekarskich i toksykologicznych. [106]

Wyniki analiz poszczególnych etapów badań zostały przedstawione w postaci widm porównawczych (IR) zależności transmitancji [%] =  $f(v \text{ cm}^{-1})$ .

Identyfikacje przeprowadzono w oparciu o analizę spektrofotometryczną (IR) hydroksyapatytu [ $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ ], podstawowego komponentu zawartego w strukturach kostnych, który w układzie polipeptydowym jest determinantem wysokiej intensywności pasm absorpcji w podczerwieni.

W badaniach porównawczych przeprowadzona została analiza spektrofotometryczna widm w podczerwieni obojczyka, z uwzględnieniem zróżnicowanych płci i wieku osób badanych, oraz czasu zgonu. Wybór obojczyka został uzasadniony jego najszybszym procesem mineralizacji w postępującym rozwoju osobniczym człowieka już we wczesnej fazie życia płodowego.

Za układ odniesienia przyjęto typowe widmo naturalnej struktury hydroksyapatytu, osadzonego w strukturze żelu białkowego.

W realizowanych badaniach, różnicujących skład mineralny kości w odniesieniu do płci i wieku osób badanych, analiza porównawcza dotyczyła pasm absorpcji typowych dla jonu fosforanowego, węglanowego, hydroksylogowego oraz ugrupowania amidowego II-rzędowego (-CO-NH-).

Wyniki badania przedstawione w postaci widm IR, pokazały małoistotne zróżnicowanie w intensywności pików charakterystycznych dla jonu

fosforanowego i węglanowego. Zbliżoną intensywność absorpcji, w odniesieniu do badanych przypadków, obserwowano dla sygnału ( $\nu = 3318\text{cm}^{-1}$ ) typowego dla ugrupowania hydroksylogowego. Stwierdzono również, że dla struktur białkowych intensywność pasm absorpcyjnych ( $\nu = 1662\text{ cm}^{-1}$  i  $\nu = 2932\text{ cm}^{-1}$ ) były zbliżone.

W przeprowadzonym eksperymencie uwzględniono również ocenę porównawczą widm spektrofotometrycznych kości kobiet i mężczyzn.

Badania przeprowadzono na próbkach z obojczyków pobranych od 6-ciu kobiet o zróżnicowanym wieku ( 22, 38, 48, 53, 61, 86 lat).

Opracowane wyniki analizy spektrofotometrycznej, w przypadku kobiet, nie pokazały istotnych różnic w intensywności transmisji w porównaniu z standardowym widmem apatyty hydroksylogowego. Pewne różnice zaobserwowano jedynie dla sygnału jonu  $\text{PO}_4^{-3}$  ( $\nu=1032\text{ cm}^{-1}$ ), a mianowicie intensywność transmisji wykazała tendencję jej wzrostu z wiekiem. Równocześnie nie obserwowano zmian wartości transmisji przypisanej ugrupowaniu amidowemu, odpowiadający kolejnym próbkom wykonanym z kości kobiet o wzrastającym przedziale wiekowym.

Analiza uzyskanych wartości przeprowadzona była również dla zróżnicowanej grupy 7-miu mężczyzn ( 23, 32, 40, 54, 62, 76, 95 lat). Badania wykonane były analogiczną techniką w fazie stałej (KBr), tak samo jak w przypadku kobiet i dzieci.

Ocena uzyskanych widm wykazała podobną prawidłowość w zakresie liczb falowych odpowiadających wartości absorpcji jonów fosforanowego, węglanowego oraz organicznego amidowego połączenia białkowego. Przebieg poszczególnych pików absorpcji był zbliżony dla badanych zróżnicowanych przedziałów wiekowych.

W realizowanym programie badań, w spektrofotometrycznej analizie w podczerwieni dla celów porównawczych poddano także kość udową pochodzącą od różnych gatunków. Dla uwzględnienia różnic gatunkowych wykorzystana została kość udowa człowieka (mężczyzna 25 lat ) oraz kości udowe wybranych zwierząt ( świni, krowy) oraz kury.



Ocena porównawcza otrzymanych widm wskazuje ten sam przebieg intensywności pasm absorpcyjnych w całym zakresie, typowym dla struktury hydroksyapatytu w układzie organicznych struktur, charakterystycznych dla polipeptydów. Wprawdzie można było zaobserwować pewne różnice w otrzymanych widmach przy poszczególnych liczbach falowych, ale były one jednak mało istotne i tym samym mało przydatne dla celów ilościowej analizy różnicujących dany gatunek.

Przeprowadzone badania kości potwierdziły jednoznacznie dużą przydatność spektrofotometrii w podczerwieni dla celów ich szybkiej identyfikacji stosowanej m. in. w medycynie sądowej, jako metody z wyboru. Wydaje się, że weryfikacja i dalsza standaryzacja etapu przygotowania próbki badanej kości do badań spektrofotometrycznych, poprzez eliminacje czynników prowadzących do wtórnej zmiany struktury hydroksyapatytu, a w szczególności jego odmiany węglanowej poprzez zastąpienie termicznej obróbki liofilizacją, może zwiększyć skuteczność parametrów identyfikacyjnych w zakresie ustalenia wieku.

Przedstawiony kompleksowy program badawczy posiadał charakter interdyscyplinarny i tylko w takim wymiarze można było go realizować w relacji praktycznych oczekiwań współczesnej medycyny sądowej.

## 8. Wnioski.

1. Najlepszą metodą przygotowania tkanki kostnej do badań mikroskopowych w zakresie ustalenia wieku szczątków ludzkich jest wykonanie szlifów kostnych, których zastosowanie zapewnia zachowanie kształtu i wymiarów elementów histologicznej struktury tkanki kostnej, ogranicza występowanie artefaktów, oraz skraca czas całkowitego przygotowania preparatu w porównaniu z innymi metodami.
2. Najlepszym miejscem pobrania kości jest zabezpieczenie najbardziej oddalonego odcinka od okolicy przyczepu mięśni i ścięgien, którym jest trzon kości, bowiem jego badanie mikroskopowe zasadniczo zmniejsza ryzyko niewłaściwej interpretacji wyników badań spowodowanych wpływem czynnika mechanicznego na mikrostrukturę kości.
3. Wszystkie analizowane cechy mikroskopowe tkanki kostnej wykazują istotne statystycznie zmiany, zachodzące z wiekiem. Najlepszymi predyktorami wieku z zastosowaniem funkcji regresji liniowej jednowymiarowej jak w grupie ogólnej, tak i dla każdej z płci są: średnia średnica kanałów Haversa, liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$ , stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$  do ogólnej ilości osteonów, odsetek powierzchni zajmowanej przez blaszki międzysystemowe, odsetek powierzchni zajmowanej przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach.
4. Uzyskane wyniki badań mikroskopowych tkanki kostnej lewego obojczyka oparte o wymienione wyżej parametry pomiarowe w relacji ich statystycznej oceny, pozwalają na szacowanie wieku szczątków przy wykorzystaniu zaproponowanych równań regresji liniowej jednowymiarowej  $\text{wiek} = \beta_0 + \beta X + \varepsilon$ . Zaproponowane parametry pomiarowe badań mikroskopowych tkanki kostnej i ich zastosowanie w odpowiednich równaniach regresji liniowej mają wystarczającą precyzję i mogą znaleźć rutynowe praktyczne zastosowanie w ekspertyzie sądowo-lekarskiej.
5. Ustalenie wieku można uzyskać uwzględniając tylko trzy parametry mikroskopowe oraz dokonując odpowiedniego obliczenia według równania

regresji liniowej wielowymiarowej  $\text{wiek} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \varepsilon$ .  
Kombinacja wybranych parametrów obliczeniowych dla grupy bez uwzględnienia płci to: średnia średnica kanałów Haversa, procentowy udział powierzchni osteonów bez przebudowy oraz średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych; dla grupy męskiej: średnia średnica kanałów Haversa, procentowy udział powierzchni fragmentów po przebudowanych osteonach oraz średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych; dla grupy kobiecej: liczba osteonów, średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych oraz procentowy udział liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy powyżej  $70\mu\text{m}$  do ogólnej liczby osteonów.

6. Badania mikroskopowe szlifów trzonu obojczyka można wykorzystać do ustalenia przynależności gatunkowej kości, niezależnie od stanu jego spopielenia, a stopień takiego zniszczenia tkanki kostnej nie wpływa na cechy mikroskopowe odróżniające kość ludzką od kości krowy i świni.
7. Użycie spektrofotometrii w podczerwieni w zakresie promieniowania liczby falowej  $400\text{-}4000\text{cm}^{-1}$ , umożliwia dokonanie szybkiej identyfikacji podstawowego składnika mineralnego kości - hydroksyapatytu ( $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) i jego odmiany węglanowej, z wykorzystaniem charakterystycznych pasm absorpcji typowych dla jonu fosforanowego ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), hydroksylowego ( $\text{OH}^{-1}$ ), węglanowego ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) oraz polipeptydowego ugrupowania amidowego ( $-\text{CO}-\text{NH}-$ ).
8. Przeprowadzona ilościowa ocena intensywności charakterystycznych pasm absorpcji widm IR badanych kości metodą linii podstawowych nie wykazała istotnych różnic zmian ilościowych w zakresie ustalenia wieku, rozróżnienia płci czy gatunku i tym samym wskazuje na jej ograniczenia użytkowe w tym zakresie.

## 9. Streszczenie

Każdego roku na terenie całego kraju ujawnia się liczne zwłoki i szczątki ludzkie o nieustalonej tożsamości. Identyfikacja szczątków ludzkich jest problemem interdyscyplinarnych badań będących w równym stopniu wyzwaniem zarówno dla prokuratury, jak i medycyny sądowej.

Jednym z elementów identyfikacyjnych jest właściwa ocena obrazu histologicznego tkanki kostnej i jej składu chemicznego, albowiem niezależnie od niekwestionowanych badań genetycznych DNA, pomagają one odpowiedzieć na pytania odnośnie wieku osoby w chwili zdarzenia oraz ustalenia przynależności gatunkowej kości.

Wielokierunkowa ocena diagnostyczna została wykorzystana dla ustalenia wieku szczątków ludzkich, określenia elementów wyróżniających tkankę kostną człowieka od innych gatunków ssaków preparatach histologicznych tkanki kostnej oraz dodatkowo określono jej zmiany strukturalne w następstwie degradacji termicznej - wysokiej temperatury. Równocześnie przeprowadzono badania dotyczące oceny tkanki kostnej w zakresie szybkiego ustalenia jej struktury chemicznej za pomocą spektrofotometrii w podczerwieni IF Furiera (zakres  $400-4000\text{ cm}^{-1}$ ). Równocześnie sprawdzono ewentualną przydatność do ustalenia zmian zachodzących z wiekiem lub występujących w układach gatunkowych.

W wyniku przeprowadzonych badań, ustalono iż najlepszym postępowaniem w przygotowaniu tkanki kostnej dla badań mikroskopowych w zakresie ustalenia wieku szczątków ludzkich jest metoda przygotowania szlifów kostnych z trzonu obojczyka. Po przeanalizowaniu obrazu mikroskopowego szlifów kostnych lewych obojczyków pochodzących ze zwłok 64 osób wykazano, iż najlepszymi predyktorami wieku z zastosowaniem funkcji regresji liniowej jednowymiarowej w grupie ogólnej, jak i dla każdej płci są: średnia średnica kanałów Haversa, liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$ , stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy  $>70\mu\text{m}$  do ogólnej ilości osteonów, odsetek powierzchni zajmowanej przez blaszki międzysystemowe, odsetek powierzchni zajmowanej przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach.

Uzyskane kompleksowe wyniki badań mikroskopowych tkanki kostnej lewego obojczyka oparte o wymienione wyżej parametry pomiarowe, pozwalają na szacowanie wieku szczątków przy wykorzystaniu zaproponowanych równań regresji liniowej jednowymiarowej ( $\text{wiek} = \beta_0 + \beta X + \epsilon$ ). Przeprowadzone badania wykazały, iż najwyższy współczynnik korelacji, który sięgał 82%, obserwowano przy użyciu parametru - średnia średnica kanałów Haversa. Dla uzyskania jeszcze bardziej dokładnych wyników warto korzystać z zaproponowanych rozszerzonych równań regresji liniowej wielowymiarowej ( $\text{wiek} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \epsilon$ ), ponieważ dla predykcji wieku z uwzględnieniem wszystkich istotnych statystycznie parametrów skorygowany współczynnik determinacji wielowymiarowej jest bardzo wysoki i może sięgać 95,5%. Zaproponowana analiza mikroskopowa szlifów trzonu obojczyka może być wykorzystana dla ustalenia przynależności gatunkowej kości zarówno nie zmienionej żadnymi czynnikami zewnętrznymi, jak i zdegradowanej termicznie.

Badania wykazały, iż spektrofotometria w podczerwieni w zakresie liczby falowej  $400-4000\text{cm}^{-1}$  umożliwia dokonanie szybkiej identyfikacji podstawowego składnika mineralnego kości – hydroksyapatytu ( $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) i jego odmiany węglanowej obok polipeptydowego układu amidowego (-NH-CO-). Wykorzystanie charakterystycznych pasm absorpcji typowych dla jonu fosforanowego ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), hydroksylowego ( $\text{OH}^{-1}$ ), węglanowego ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) oraz ugrupowania amidowego (-NH-CO-) jest przydatne w szybkiej ocenie jakościowej badanego materiału dowodowego. Przeprowadzona ilościowa ocena intensywności charakterystycznych pasm absorpcji hydroksyapatytu ( $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$ ) i ugrupowania poliamidowego (-NH-CO-) w widmach IR badanych kości nie wykazała istotnych różnic zmian ilościowych w zakresie ustalenia przedziałów wieku, rozróżnienia płci czy gatunku i tym samym wskazuje na jej ograniczenia użytkowe w tym zakresie.

Zrealizowany cel pracy stanowi przykład interdyscyplinarnego programu, którego charakteryzuje uniwersalizm niezbędny w realizacji nowoczesnej działalności naukowo-badawczej współczesnej medycyny sądowej i kryminalistyki.

## 10. Summary

Every year and all over the country numerous dead bodies and unidentified human remains are discovered. The identification of human remains represents a problem for inter-disciplinary investigations, posing a challenge for both the public prosecutor and forensic medicine.

One of the elements of identification involves the appropriate evaluation of histological patterns in osseous tissue and its chemical composition since, independent of the highly valuable DNA genetic studies, it helps to estimate the age of the identified person at the time of his/her death and the species which the bones represent.

The multi-directional diagnostic evaluation is used to estimate the age of human remains, to define elements which differentiate human osseous tissue from histological preparations of bones originating from other mammalian species and, in addition, to define structural alterations developing due to exposure to thermal degradation due to high temperatures. In parallel, studies on osseous tissues were conducted to rapidly determine their chemical structure using Fourier infra-red spectrophotometry (wavelength range of 400 to 4000  $\text{cm}^{-1}$ ) and identification of respective potential age- or species-dependent differences.

The studies results identified microscopic analysis of the ground preparations of the clavicle body as the optimum procedure to estimate the age of human remains. Analysis of microscopic patterns in ground preparations of left clavicles originating from 64 dead bodies demonstrated that in the entire group and for either gender the best predictors of the remnant's age using univariate linear regression function involved the mean diameter of the Haversian canal, number of osteons with Haversian canal of  $>70\mu\text{m}$  in diameter, ratio of the number of osteons with Haversian canal of  $>70\mu\text{m}$  in diameter to the total number of osteons, the fraction of the ground surface occupied by interstitial lamellae and the surface fraction occupied by fragments and the remains of transformed osteons. The complex results obtained by the microscopic analysis of the left clavicle bone and comprising the above listed measurable parameters allowed one to appraise the age of the remains using the suggested equations of linear

univariate regression ( $\text{age} = \beta_0 + \beta X + \epsilon$ ). The results demonstrated that the highest correlation coefficient (reaching almost 82%) was obtained using the mean diameter of Haversian canals. For even more accurate results it proved to be advantageous to use the suggested extended equations of linear multivariate linear regression ( $\text{age} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \epsilon$ ), since in prediction of age using all statistically significant parameters the corrected coefficient of multivariate determination proved to be very high, reached even 95.5% accuracy. The suggested microscope analysis of ground clavicle body preparations may be used for the determination of a species to which the bone owner belonged, independent of whether the bone was intact by external conditions or thermally degraded.

The studies demonstrated that infra-red spectroscopy within the wavelength range of 400 to 4000 $\text{cm}^{-1}$  allowed the rapid identification of the principal bone component, hydroxyapatite ( $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) and its carbonate variety in line with the polypeptide amide (-NH-CO-) system. Detection of the absorption bands characteristic for phosphate ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), hydroxy ( $\text{OH}^{-1}$ ), carbonate ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) ions and those for the amide (-NH-CO-) group is useful for a rapid qualitative analysis of the studied material evidence. Quantitative analysis of the intensity manifested by absorption bands characteristic of hydroxyapatite ( $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$ ) and polyamide (-NH-CO-) group in IR spectra of examined bones did not point to significant quantitative differences related to age range, gender or species and, thus, showed that such an analysis cannot be used for a respective differential analysis.

The study aims to provide an example of an inter-disciplinary programme, characterized by a universal approach, which is indispensable in the modern scientific/investigative activities of forensic medicine and criminology.

## 11. Piśmiennictwo

1. Abdennagy B., Hott M., Marie P.J.: Effects of platelet-derived growth factor on human and mouse osteoblastic cells isolated from the trabecular bone surface. *Cell Biology International Reports* 1992; 16: 235-247.
2. Abramov S. S.: Kompjuterizacija kraniofascialnoj identifikaciji (metodologia i praktika). Rozprawa na stopień doktora habilitowanego nauk medycznych, Moskwa, 1998; - 358. Źródło: <http://www.med-pravo.ru/SudMed/Biblio/BiblioAuthor.htm>
3. Ahlqvist J., Damsten O.: Modification of Kerley's method for the microscopic determination of age in human bone. *Journal of Forensic Sciences*, 1969, 14, 205-212.
4. Akeson W. H., Woo SL., Rutharford L., Contis R.D., Consalves M.: The effects of rigidity of internal fixation plates on long bone remodeling. *Acta Orthopaedica Scandinavica*; 1976; 47: 241-249.
5. Aronson J., Good B., Steward C. et al.: Preliminary Studies of Mineralisation During Distraction Osteogenesis. *Clinical Orthopaedics*, 1990; 250: 43-49.
6. Aronson J., Harrison B.H., Stewart C.L., Harp J.H.: The histology of distraction osteogenesis using different external fixators. *Clinical Orthopaedics*, 1989; 241: 106-116.
7. Ashton B. et al.: Formation of bone and cartilage by marrow stromal cells in diffusion chambers in vivo. *Clinical Orthopaedics*, 1980; 151: 294-307.
8. Aufdemorte T. B. et al.: An intraosseous device for studies of bone healing. The effects of transforming growth factor beta./. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 1992; 74A: 1153-1161.
9. Avtandilov G. G.: Kompjuternaja mikrotelefotometrija w diagnosticzeskoj gistopatologii. Moskwa.: RMAPO, 1996. - 256.
10. Avtandilov G. G.: Medicinskaja morfometrija. Rukovodstvo. Moskwa, Medicina, 1990.- 384.



11. Avtandilov G. G.: Vvedenie v kolichestwennuju patologicheskiju morfologiju. Moskwa, 1980.- 213.
12. Bab J., Ashton B.A., Gazit D., Marx G., Williamson M.C., Owen M.: Kinetics and differentiation of marrow stromal cells in diffusion chambers in vivo. *Journal of Cell Science* 1986; 84: 139-151.
13. Bab J., Howlett C.R., Ashton B.A., Owen M.E.: Ultrastructure of bone and cartilage formed in vivo in diffusion chambers. *Clinical Orthopaedics*, 1984; 187: 243-254.
14. Babichev V. I.: Vozrastnye osobennosti razvitija bolshebercovej kosti cheloveka v sudebno-medicynskom otnoshenii. Rozprawa na stopień doktora habilitowanego nauk medycznych, 1976, Voronezh. Źródło: <http://www.med-pravo.ru/SudMed/Biblio/BiblioAuthor.htm>
15. Baccino E, Ubelaker DH, Hayek LAC, Zerilli A.: Evaluation of seven methods of estimating age at death from mature human skeletal remains. *Journal of Forensic Sciences*, 1999, 44: 931-936.
16. Bednarek J.: Metody oceny wieku w chwili śmierci w oparciu o histomorfometrię istoty zbitej tkanki kostnej. *Archiwum Medycyny Sądowej i Kryminologii*, 2008, 197-204.
17. Bochenek A., Ciechanowski S., Krzysztalowicz F., Loth E., Majewski K., Markowski J.: Anatomia człowieka. Tom I Anatomia ogólna: kości, stawy więzadła i mięśnie. red: Ciechanowski S., PZWL, Warszawa 1997, 438-440.
18. Bonucci E.: The ultrastructure of the osteocyte. *Ultrastructure of skeletal tissues. Bone and cartilage in health and disease.* Kluwer Academic Publishers. Boston-Dordrecht-London 1990; 223-237.
19. Boskey A.L., Karsenty G., McKee M.D.: Mineral Characterization of Bones and Soft Tissues in Matrix gla-protein Deficient Mice. w: *Chemistry and Biology of Mineralized Tissues*, red. Goldberg M., Boskey A., Robinson C., Chicago, American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2000, 63-67.

20. Bouvier M. and Ubelaker D.H.: A comparison of two methods for the microscopic determination of age at death. *American Journal of Physical Anthropology*, 1977, 46: 391-394.
21. Bowman B.M., Miller S.C.: The proliferation and differentiation of the bone-lining cell in estrogen-induced osteogenesis. *Bone*, 1986; 7: 351-357.
22. Bradtmiller B, Buikstra JE, Lopez-Parra A.M, Alvarez S, Mesa MS, Bandres F, Arroyo-Pardo E.: Effects of burning on human bone microstructure: a preliminary study. *American Journal of Physical Anthropology*, 1984, 29: 535-540.
23. Brookes M., Elkin A.C., Harrison R.G., Heald C.B.: A new concept of capillary circulation in bone cortex. Some clinical application. *Lancet* 1961, 1078-1081.
24. Butler W.T.: Glycoproteins of bone and dentin. w: *The chemistry and biology mineralized tissues*. ed: Butler W.T., EBSCO Media, Birmingham 1985, 303-306.
25. Carrino E.D., Witzhandler M., Caplan A. I.: Proteoglycans synthesized during the cartilage to bone transition. w: *The chemistry and biology of mineralized tissues*, ed: Butler W.T., EBSCO Media, Birmingham 1985, 197-208.
26. Chan A. H., Crowder C. M., Rogers T. L.: Variation in cortical bone histology within the human femur and its impact on estimating age at death. *American Journal of Physical Anthropology*, 2007, 132, 1, 80-88.
27. Cornell C.N., Lane J.M.: Newest factors in fracture healing. *Clinical Orthopaedics*, 1992; 277: 297-311.
28. Couchourel D., Escoffier C, Rohanizadeh R.: Effects of fibronectin on hydroxyapatite formation. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 1999; 73: 129-136.
29. Crofts R. D., Boyce T. M., Bloebaum R. D.: Aging changes in osteon mineralization in the human femoral neck. *Bone*, 1994, 15: 147-152.

30. Currey J. D.: Bones - structure and mechanics. Princeton University Press, 2002, - 436.
31. Currey J. D.: Some effects of ageing in human Haversian systems, *Journal of Anatomy*, 1964, 98: 69-75.
32. Dawson-Hughes B., Harris S.S., Krall E.A., Dallal G.E., Falconer G, Green C.L.: Rates of bone loss in postmenopausal women randomly assigned to one of two dosages of vitamin D. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1995; 61: 1140-1145.
33. Delloye C, Delefortrie G., Coutelier L., Vincent A.: Bone Regenerate Formation in Cortical Bone During Distraction Lengthening. An Experimental Study. *Clinical Orthopaedics*, 1990; 250: 34-42.
34. Doncov B. G.: Vozrastnye osobennosti mikroskopicheskogo stroeniya i mineralizacii kostnoj tkani pleczewoj kosti czeloweka w sudebno-medicinskom odnoszenii. Rozprawa na stopień doktora habilitowanego nauk medycznych, Moskwa, 1977, 8-42. Źródło: <http://www.med-pravo.ru/SudMed/Biblio/BiblioAuthor.htm>
35. Dudar J. O, Pfeiffer S., Saunders S. R.: Evaluation of morphological and histological adult skeletal age-at-death estimation techniques using ribs. *Journal of Forensic Sciences*, 1993, 38: 677-685.
36. Dziedzic-Goclawska A.: Tkanka kostna. W: *Histologia*. Ostrowski K. (red.) PZWL, Warszawa 1995: 244-304.
37. Ericksen M. F.: Histologic estimation of age at death using the anterior cortex of the femur. *American Journal of Physical Anthropology*, 1991, 84: 171-179.
38. Eriksen E.F.: Normal and pathological remodeling of human trabecular bone: Three dimensional reconstruction of the remodeling sequence in normals and in metabolic bone disease. *Endocrine Reviews*, 1986; 7: 379-408.
39. Felix R., Fleisch H., Elford PR.: Bone-resorbing cytokines enhance release of macrophage colony-stimulating activity by the osteoblastic cell line MC3T3-E1. *Calcified Tissue International*, 1989; 44: 356-360.

40. Frost H.M.: The biology of fracture healing. An overview for clinicians. *Clinical Orthopaedics*, 1989; 248: 283-293.
41. Frost H.M.: The skeletal intermediary organization. *Metabolic Bone Disease and Related Research*, 1983, 4: 281-290.
42. Giles E and Klepinger LL.: Confidence intervals for estimates based on linear regression in forensic anthropology. *Journal of Forensic Sciences*, 1988, 33: 1218-1222.
43. Gokhale J., Robey P.G., Boskey A.L.: *The Biochemistry of Bone. w: Osteoporosis.* red. Marcus R., Feldman D., Kesley J., Academic Press, San Diego, 2001.
44. Gospodarowicz D.: Fibroblast growth factor: chemical structure and biological function. *Clinical Orthopaedics*, 1990; 257: 231-248.
45. Hunter G.K., Goldberg H.A.: Nucleation of hydroxyapatite by bone sialoprotein. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 1993; 90: 8562-8565.
46. Ilizarow G.A.: The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. *Clinical Orthopaedics*, 1989; 238: 249-281.
47. Ilizarow G.A.: The Tension-Stress Effect on the Genesis and Growth of Tissues. Part II. The influence of Rate and Frequency of Distraction. *Clinical Orthopaedics*, 1989; 239: 263-285.
48. Ingraham M.R.: Histological age estimation of the midshaft clavicle using a new digital technique. Thesis prepared for the degree of master of science, Texas, 2004, -35.
49. Ingram R.T., Park Y.K., Clarke B.L., Fitzpatric L.A.: Age- and gender-related changes in the distribution of osteocalcin in the extracellular matrix of normal male and female bone. Possible involvement of osteocalcin in bone remodeling. *The Journal of Clinical Investigation*, 1994, 93: 989-997.
50. Iwaniec U. T., Crenshaw T. D., Schoeninger M. J., Stout S. D., Ericksen M.F.: Methods for improving the efficiency of estimating total osteon

- density in the human anterior mid-diaphyseal femur, *American Journal of Physical Anthropology*, 1998 Sep;107: 13-24.
51. Johnson K.A., Howlet C.R., Bellenger C.R., Armati-Cukson P.: Osteogenesis by canine and rabbit bone marrow in diffusion chambers. *Calcified Tissue International*, 1988; 42: 113-118.
  52. Jones S.J., Ali N.N., Boyde A: Survival and resorptive activity of chick osteoklasts in culture. *Anatomy and embryology*. 1986; 174: 265-275.
  53. Jowsey J.: Age changes in human bone. *Clinical Orthopaedics*, 1960, 17: 210-217.
  54. Kerley E. R.: The microscopic determination of age in human bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 1965, 23: 149-164.
  55. Kerley E. R., Ubelaker D. H.: Revisions in the microscopic method of estimating age at death in human cortical bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 1978, 49: 545-546.
  56. Kim Y. S., Kim D. I., Park D. K., Lee J. H., Chung N. E., Lee W. T, Han S. H.: Assessment of histomorphological features of the sternal end of the fourth rib for age estimation in Koreans. *Journal of Forensic Sciences*, 2007, 52: 1237-1242.
  57. Kimura K.: Estimation of age at death from second metacarpals. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*, 1992, 79: 169-181.
  58. Kokot E, Ficek R.: Regulacja gospodarki wapniowej. Nowe aspekty patofizjologiczne. *Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej*, 2000, 104: 621-630.
  59. Königsberg L. W., Hens S. M., Jantz L. M., Jungers W. L.: Stature estimation and calibration: Bayesian and maximum likelihood perspectives in physical anthropology. *American Journal of Physical Anthropology*, 1998, Suppl. 27: 65-92.
  60. Krempien B., Geiger G., Ritz E.: Structural changes of cortical bone in secondary hyperparathyroidism: replacement of lamellar bone by woven bone. *Virchows Archiv. A, Pathological anatomy and histology*, 1975, 366: 249-256.

61. Kukita T., McManus L. M., Miller M., Civin C., Roodman G. D.. Osteoclast-like cells formed in long-term human bone marrow cultures express a similar surface phenotype as authentic osteoclasts. *Laboratory Investigation*, 1989, 60: 532-538.
62. Kukita T, Roodman G.D.: Development of monoclonal antibody to osteoclasts formed in vitro which recognizes mononuclear osteoclast precursors in the marrow. *Endocrinology*. 1989; 125: 630-637.
63. Kuryszko J., Zarzycki J.: *Histologia zwierząt*. PWRiL, Warszawa 2000: 139-158.
64. Lewis D.B., Liggitt H.D., Effmann E.L., Motley ST., Teitelbaum S.L., Jepsen K.J., Goldstein S.A., Bonadio J., Carpenter J., Perlmutter R.M.: Osteoporosis induced in mice by overproduction of interleukin 4. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1993; 90: 11618-11622.
65. London M. R., Libbey N. P., Shemin D. G, Chazan J. A.: Renal osteodystrophy and dialysis artifacts as indicators of identification. *Forensic Science International*, 1994 65: 81-96.
66. Lynnerup N., Thomsen J.L., Fröhlich B.: Intra- and inter-observer variation in histological criteria used in age at death determination based on femoral cortical bone *Forensic Science International*, 1998, 91: 219-230.
67. Lovejoy C.O., Meindl R.S., Mensforth R.P., Barton T.J.: Multifactorial determination of skeletal age at death: a method and blind tests of its accuracy. *American Journal of Physical Anthropology*, 1985, 68: 1-14.
68. Macchiarelli R, Bondioli L.: Linear densitometry and digital image processing of proximal femur radiographs: Implications for archaeological and forensic anthropology. *American Journal of Physical Anthropology*, 1994, 93: 109-122.
69. Marie P.J. Lomri A., Sabbagh A., Basel M.: Culture and behavior of osteoblastic cells isolated from normal trabecular bone surfaces. *In Vitro Cellular and Developmental Biology*. 1989, 25: 373-380.

70. Menton D.N., Simmons D.J., Plurad S.B.: A cellular investment of bone marrow. *The Anatomical record.*, 1982, 203: 157-164.
71. Miller S.C., Bowman B.M., Smith J.M.: Characterisation of endosteal bone-lining cells from fatty marrow sites in adult beagles. *The Anatomical record.*, 1980, 198: 163-173.
72. Mordasow. V. F.: Sudebno-medicinskoe ustanovlenie vozrasta cheloveka po mikrostrukture bedrennoj kosti. Rozprawa na stopień doktora habilitowanego nauk medycznych, Voronezh, 1988, -188.
73. Mosekilde L.I.: Consequence of the remodeling process for vertebral trabecular bone structure: a scanning electron microscopy study. *Bone Miner*, 1990, 10: 13-35.
74. Nainis I. V.: Identifikacija lichnosti po proksimalnym kostiam konechnostej. 1972, Izdatelstwo "Mintis" 1972, 5-14
75. Nekludov Y. A.: Ekspertnaja ocenka wozrastnyh izmenenij skeleta werhnih konechnostej. Saratov, 1992, - 124.
76. Niedzwiedzki T. Kuryszko J. J.: *Biologia kości*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa, 2007, - 133.
77. Nyssen-Behets C., Duchesne P.Y., Dhem A.: Structural changes with aging in cortical bone of the human tibia. *Gerontology* 1997; 43: 316-325.
78. Osipenkova-Vichtomova T. K.: Sudebno-gistologicheskaja ekspertiza kostej. Moskwa, VIKRA, 2000, - 144.
79. Paaver K.: *Izmenchivost osteonnoj organizacii mlekopitajuschih*. Tallin, Valgus, 1973, - 243.
80. Parfitt A.M.: Quantum concept of bone remodeling and turnover: implications for the pathogenesis of osteoporosis. *Calcified Tissue International*, 1970, 28: 1-7.
81. Parfitt A.M., Kleerekoper M.: The divalent ion homeostatic system: physiology and metabolism of calcium, phosphorus, magnesium and bone. w: *Clinical disorders of fluid and electrolyte metabolism*, red: Maxwell M., Kleeman C.R. McGraw-Hill, New York, 1980, 947-1152.

82. Parfitt A.M.: The physiologic and clinical significance of bone histomorphometric data. w: Bone histomorphometry, techniques and interpretation. red: Recker RR, CRC Press, Boca Raton 1983, 143-222.
83. Parfitt A.M.: Age related structural changes in trabecular and cortical bone: cellular mechanisms and biomechanical consequences. *Calcified Tissue International*, 1984, 36: 123-128.
84. Parfitt A.M.: Trabecular bone architecture in the pathogenesis and prevention of fracture. *American Journal of Medicine*, 1987, 82: 68-72.
85. Pfeiffer S., Lazenby R., Chiang J.: Brief Communication: Cortical remodeling data are affected by sampling location. *American Journal of Physical Anthropology*, 1995, 96, 89-92.
86. Pigolkin Y. I., Fedulova M. V., Goncharova N. N.: Mikroosteometrija kak metod opredelenija wozrasta po kostnym ostankam. *Sudebno-medicinskaja ekspertiza*. - 2001, 44: 43-51.
87. Raszeja S., Nasiłowski W., Markiewicz J.: *Medycyna sądowa. Podręcznik dla studentów*. PZWL, Warszawa, 1993.
88. Revell P.A.: *Patologia kosti*. Moskwa, Medicina, 1993, 11-49, 250-286.
89. Richman E. A., Ortner D. J., Schulter-Ellis F. P.: Differences in intracortical bone remodeling in three aboriginal American populations: possible dietary factors. *Calcified Tissue International*, 1979 6: 209-14.
90. Russell K. F., Simpson S. W., Genovese J., Kinkel M. D., Meindl R. S., Lovejoy C. O.: Independent test of the fourth rib aging technique. *American Journal of Physical Anthropology*, 1993, 92: 53-62.
91. Scheuer L, Sue M. Black.: *The juvenile skeleton* Elsevier, 2004, 245-248.
92. Sinelnikov R. D. *Atlas anatomii cheloveka*. red. Shvecov M. I., Mecicina, Moskwa, 1967, 110-116, 331-335.
93. Singh U., Gunberg D. L.: Estimation of age at death in human males from quantitative histology of bone fragments. *American Journal of Physical Anthropology*, 1970, 33: 373-81.



94. Squillante R. G., Williams J. L.: Videodensitometry of osteons in females with femoral neck fractures. *Calcified Tissue International*, 1993, 52: 273-277
95. Stout S.D., Gehlert S.J.: Effects of field size when using Kerley's histological method for determination of age at death. *American Journal of Physical Anthropology*, 1982, 58: 123-125.
96. Stout S. D.: Histomorphometric Analysis of Human Skeletal Remains., w: *Reconstruction of Life From the Skeleton*, ed: Iscan MY, Kennedy K.A.R, Willey-Liss, 1989, 41-52.
97. Stout S. D.: The application of histological techniques for age at death estimation., w: *Forensic Osteology: Advances in the Identification of Human Remains* ed. Reichs K J. (ed.), Bass W.M., Charles C Thomas Publisher, 1998, 237-252.
98. Stout S. D.: The effects of long-term immobilization on the histomorphology of human cortical bone., *Calcified Tissue International*, 1982, 34, 337-342.
99. Stout S.D., Stanley S.C.: Percent osteonal bone vs. osteon counts: The variable of choice for estimating age at death. *American Journal of Physical Anthropology*, 1991, 86: 515-519.
100. Stout S.D., Porro M.A., Perotti B.: Brief communication: A test and correction of the clavicle method of Stout and Paine for histological age estimation of skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology*, 1996, 100: 139-142.
101. Stout S. D., Gehlert S. J.: The relative accuracy and reliability of histological aging methods. *Forensic Science International*, 1980, 15, 181-190.
102. Stout S. D.: The use of histomorphology to estimate age. *Journal of Forensic Sciences*, 1988, 33, 121--125.
103. Stout S. D., Paine R. R.: Brief communication: histological age estimation using rib and clavicle. *American Journal of Physical Anthropology*, 1992, 87: 111-115.

104. Suchey J.M., Katz D.: Applications of pubic age determination in a forensic setting. w: *Forensic Osteology: Advances in the Identification of Human Remains*. red: Reichs K. J., Springfield, Charles C. Thomas, 1998, 204-236.
105. Sugiyama T, Kusuhara S: Ultrastructural changes of osteoclasts of hen medullary bone during the egg-laying cycle. *British Poultry Science*. 1993, 34: 471-477.
106. Szczepaniak W. *Metody instrumentalne w analizie chemicznej*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa, 2002, 127-128.
107. Takahashi N., Kukita T., MacDonald B.R.: Osteoklast-like cells from long term human bone marrow but not in peripheral blood cultures. *The Journal of Clinical Investigation*, 1989, 83: 543-550.
108. Takeshita N., Yoshino T., Mutoh S., Yamaguchi I.: Possible involvement of vitamin D<sub>3</sub>-deficiency and relatively enhanced bone resorption in the development of bone loss in streptozotocin-induced diabetic rats. *Life Sciences*, 1994, 55: 291-299.
109. Thompson D. D.: The core technique in the determination of age at death in skeletons. *Journal of Forensic Sciences*, 1979, 24: 902-915.
110. Thompson D. D.: Age changes in bone mineralization, cortical thickness, and haversian canal area. *Calcified Tissue International*, 1980, 31: 5-11.
111. Thompson D. D., Galvin C. A.: Estimation of age at death by tibial osteon remodeling in an autopsy series. *Forensic Science International*, 1983, 22: 203-211.
112. Thomsen J. S., Ebbesen E. N, Mosekilde L. A.: New method of comprehensive static histomorphometry applied on human lumbar vertebral cancellous bone. *Bone*, 2000, 27: 129-38.
113. Turban-Just S., Grupe G.: Postmortem reconstruction of metabolic rates using histomorphometry of buried human compact bones. *Anthropologischer Anzeiger*, 1995, 53: 1-25.
114. Ubelaker D.H.: Estimating age at death from immature human skeletons: an overview. *Journal of Forensic Sciences* 1987, 32: 1254-63

115. Vaes G.: Cellular biology and biochemical mechanism of bone resorption. A review of recent developments on the formation, activation, and mode of action of osteoclasts. *Clinical Orthopaedics*, 1988, 231: 239-271.
116. Vanderschueren D., Herck E. van., Suiker A.M.H., Visser W.J., Schot L.P.C., Bouillon R., Van Herck E.: Bone and mineral metabolism in aged male rats: short and long term effects of androgen deficiency. *Endocrinology*, 1992; 130: 2906-2916.
117. Wanda M. Haschek, Colin G. Rousseaux, Matthew A. Wallig.: *Fundamentals of Toxicologic Pathology. Bones and Joints*. 2010, 411-449.
118. Zaidi M., Alam A.S., Shankar V.S.: Cellular biology of bone resorption. *Biological Reviews*, Cambridge Philosophical Society, 1993, 68: 197-264.
119. Zwiagin V. N.: Problemnyj analiz mediko-antropologicheskoy identifikacii lichnosti v sudebnoj medicine. *Sudebno-medicinskaja ekspertiza*, 2003, 5: 6-8.

## 12. Spis tabel, rycin i zdjęć.

|  |    |
|--|----|
| Ryc. 1. Fazy przebudowy wewnętrznej tkanki kostnej.....  | 11 |
| Ryc. 2. Widmo naturalnej struktury hydroxyapatytu w podczerwieni<br>w zakresie 500-4000 cm <sup>-1</sup> .....   | 43 |
| Ryc. 3. Widmo naturalnej struktury hydroxyapatytu w podczerwieni,<br>wersja rozszerzona, zakres 600-1800cm <sup>-1</sup> .....   | 43 |
| Ryc. 4. Widmo naturalnej struktury hydroxyapatytu w podczerwieni<br>wersja rozszerzona, zakres 2000-4000cm <sup>-1</sup> .....   | 44 |
| Ryc. 5. Graficzne przedstawienie obliczeń parametrów absorpcji<br>metodą linii podstawowej. ....   | 45 |
| Ryc. 6. Wykres rozrzutu parametru IOs i wieku dla grupy ogólnej .....  | 63 |
| Ryc. 7. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i<br>przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor IOs .....       | 64 |
| Ryc. 8. Wykres rozrzutu parametru IOs i wieku dla grupy mężczyzn. ....   | 65 |
| Ryc. 9. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i<br>przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej predyktor IOs dla grupy mężczyzn.....        | 66 |
| Ryc. 10. Wykres rozrzutu parametru IOs a wieku dla grupy kobiet.....   | 67 |
| Ryc. 11. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i<br>przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor IOs.....        | 68 |
| Ryc. 12. Wykres rozrzutu parametru KH >70µm i wieku dla grupy<br>ogólnej.....  | 69 |
| Ryc. 13. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i<br>przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor KH >70µm ..... | 70 |
| Ryc. 14. Wykres rozrzutu parametru KH >70µm i wieku dla grupy<br>mężczyzn.....   | 71 |

|  |    |
|--|----|
| Ryc. 15. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor KH >70µm. ....              | 72 |
| Ryc. 16. Wykres rozrzutu parametru KH >70µm i wieku dla grupy kobiet.....  | 73 |
| Ryc. 17. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor KH >70µm. ....                | 74 |
| Ryc. 18. Wykres rozrzutu parametru % KH >70µm i wieku dla grupy ogólnej.....   | 75 |
| Ryc. 19. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor % KH >70µm.....              | 76 |
| Ryc. 20. Wykres rozrzutu parametru % KH >70µm i wieku dla grupy mężczyzn.....  | 77 |
| Ryc. 21. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor % KH >70µm.....             | 78 |
| Ryc. 22. Wykres rozrzutu parametru % KH >70µm i wieku dla grupy kobiet.....  | 79 |
| Ryc. 23. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej, predyktor % KH >70µm dla grupy kobiet.....               | 80 |
| Ryc. 24. Wykres rozrzutu parametru $\bar{x} \pm \sigma$ KH i wieku dla grupy ogólnej.....  | 81 |
| Ryc. 25. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor $\bar{x} \pm \sigma$ KH..... | 82 |
| Ryc. 26. Wykres rozrzutu parametru $\bar{x} \pm \sigma$ KH i wieku dla grupy mężczyzn.....   | 83 |

|  |    |
|--|----|
| Ryc. 27. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej, predyktor $\bar{\sigma}$ KH dla grupy mężczyzn ..... | 84 |
| Ryc. 28. Wykres rozrzutu parametru $\bar{\sigma}$ KH i wieku dla grupy kobiet .....  | 85 |
| Ryc. 29. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor $\bar{\sigma}$ KH. ....   | 86 |
| Ryc. 30. Wykres rozrzutu parametru $\bar{\sigma}$ GBZ i wieku dla grupy ogólnej .....  | 87 |
| Ryc. 31. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor $\bar{\sigma}$ GBZ.....  | 88 |
| Ryc. 32. Wykres rozrzutu parametru $\bar{\sigma}$ GBZ i wieku dla grupy mężczyzn .....   | 89 |
| Ryc. 33. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor $\bar{\sigma}$ GBZ..... | 90 |
| Ryc. 34. Wykres rozrzutu parametru $\bar{\sigma}$ GBZ i wieku w grupie kobiet .....  | 91 |
| Ryc. 35. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor $\bar{\sigma}$ GBZ.....   | 92 |
| Ryc. 36. Wykres rozrzutu parametru PBM i wieku dla grupy ogólnej.....  | 93 |
| Ryc. 37. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor PBM. ....                | 94 |
| Ryc. 38. Wykres rozrzutu parametru PBM i wieku dla grupy mężczyzn.....   | 95 |
| Ryc. 39. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor PBM. ....               | 96 |
| Ryc. 40. Wykres rozrzutu parametru PMB i wieku dla grupy kobiet.....   | 97 |
| Ryc. 41. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor PBM. ....                 | 98 |

|   |     |
|---|-----|
| Ryc. 42. Wykres rozrzutu parametru POs i wieku dla grupy ogólnej .....  | 99  |
| Ryc. 43. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor POs. ....   | 100 |
| Ryc. 44. Wykres rozrzutu parametru POs i wieku dla grupy mężczyzn .....   | 101 |
| Ryc. 45. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor POs. ....  | 102 |
| Ryc. 46. Wykres rozrzutu parametru POs i wieku dla grupy kobiet .....   | 103 |
| Ryc. 47. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy kobiet, predyktor POs. ....    | 104 |
| Ryc. 48. Wykres rozrzutu parametru PFOs i wieku dla grupy ogólnej .....   | 105 |
| Ryc. 49. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy ogólnej, predyktor PFOs. ....  | 106 |
| Ryc. 50. Wykres rozrzutu parametru PFOs i wieku dla grupy mężczyzn .....  | 107 |
| Ryc. 51. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej dla grupy mężczyzn, predyktor PFOs. .... | 108 |
| Ryc. 52. Wykres rozrzutu parametru PFOs i wieku dla grupy kobiet .....  | 109 |
| Ryc. 53. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej, predyktor POs dla grupy kobiet. ....    | 110 |
| Ryc. 54. Wykres rozrzutu parametru długość obojczyka i wieku. ....  | 111 |
| Ryc. 55. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej, predyktor - długość obojczyka. ....     | 112 |
| Ryc. 56. Wykres rozrzutu parametru szerokość obojczyka i wieku. ....  | 113 |

|   |     |
|---|-----|
| Ryc. 57. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej, predyktor - szerokość obojczyka. .... | 114 |
| Ryc. 58. Wykres rozrzutu parametru grubość obojczyka i wieku. ....  | 115 |
| Ryc. 59. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>jednowymiarowej, predyktor - grubość obojczyka. ....   | 116 |
| Ryc. 60. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>wielowymiarowej standardowej dla grupy ogólnej.....    | 118 |
| Ryc. 61. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>wielowymiarowej postępującej dla grupy ogólnej .....   | 120 |
| Ryc. 62. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>wielowymiarowej wstecznej dla grupy ogólnej .....      | 122 |
| Ryc. 63. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>wielowymiarowej standardowej dla grupy mężczyzn.....   | 124 |
| Ryc. 64. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>wielowymiarowej postępującej dla grupy mężczyzn .....  | 126 |
| Ryc. 65. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>wielowymiarowej wstecznej dla grupy mężczyzn .....     | 128 |
| Ryc. 66. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>wielowymiarowej standardowej dla grupy kobiet.....     | 130 |
| Ryc. 67. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego<br>i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej<br>wielowymiarowej postępującej dla grupy kobiet .....    | 132 |



|  |     |
|--|-----|
| Ryc. 68. Wykres rozrzutu wartości wieku obserwowanego i przewidywanego na podstawie modelu regresji liniowej wielowymiarowej wstecznej dla grupy kobiet .....  | 134 |
| Ryc. 69. Graficzne przedstawienie intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000 $\text{cm}^{-1}$ dla próbek części zbitej obojczyka dzieci w różnym wieku.....                          | 141 |
| Ryc. 70. Graficzne przedstawienie intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000 $\text{cm}^{-1}$ dla niektórych z wybranych próbek części zbitej obojczyka kobiet w różnym wieku. ....  | 142 |
| Ryc. 71. Graficzne przedstawienie intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000 $\text{cm}^{-1}$ dla niektórych z wybranych próbek części zbitej obojczyka mężczyzn w różnym wieku..... | 143 |
| Ryc. 72. Graficzne przedstawienie intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000 $\text{cm}^{-1}$ dla próbek części zbitej obojczyka człowieka i kości udowej świni. ....                | 144 |
| Ryc. 73. Rozkład badanego materiału z uwzględnieniem przedziału wiekowego i płci. ....   | 146 |

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1. Najczęściej spotykane odmiany apatyty hydroksylowego<br>zidentyfikowane w układzie kostnym człowieka. ....                | 8  |
| Tab. 2. Dane ilościowe i procentowe uzyskane w badaniu<br>morfometrycznym szlifów trzonów obojczyków. ....                        | 31 |
| Tab. 3. Charakterystyczne pasma absorpcji w podczerwieni typowe<br>dla hydroksyapatytu w żelowej strukturze białkowej kości. .... | 44 |
| Tab. 4. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność IOs i wieku dla grupy ogólnej. ....                         | 63 |
| Tab. 5. Wartości przewidywane i reszty badania zależności IOs<br>i wieku dla grupy ogólnej. ....                                  | 64 |
| Tab. 6. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność IOs i wieku dla grupy mężczyzn. ....                        | 65 |
| Tab. 7. Wartości przewidywane i reszty badania zależności IOs<br>i wieku dla grupy mężczyzn. ....                                 | 66 |
| Tab. 8. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność IOs i wieku dla grupy kobiet. ....                          | 67 |
| Tab. 9. Wartości przewidywane i reszty badania zależności IOs<br>i wieku dla grupy kobiet. ....                                   | 68 |
| Tab. 10. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy ogólnej. ....             | 69 |
| Tab. 11. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy ogólnej. ....                      | 70 |
| Tab. 12. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy mężczyzn. ....            | 71 |
| Tab. 13. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy mężczyzn. ....                     | 72 |
| Tab. 14. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy kobiet. ....              | 73 |
| Tab. 15. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy kobiet. ....                       | 74 |

|  |    |
|--|----|
| Tab. 16. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność % KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy ogólnej.....           | 75 |
| Tab. 17. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>% KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy ogólnej.....                    | 76 |
| Tab. 18. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność % KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy mężczyzn.....          | 77 |
| Tab. 19. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>% KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy mężczyzn.....                   | 78 |
| Tab. 20. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność % KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy kobiet.....            | 79 |
| Tab. 21. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>% KH >70 $\mu$ m i wieku dla grupy kobiet.....                     | 80 |
| Tab. 22. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność $\bar{x}$ $\emptyset$ KH i wieku dla grupy ogólnej .....  | 81 |
| Tab. 23. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>$\bar{x}$ $\emptyset$ KH i wieku dla grupy ogólnej.....            | 82 |
| Tab. 24. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność $\bar{x}$ $\emptyset$ KH i wieku dla grupy mężczyzn ..... | 83 |
| Tab. 25. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>$\bar{x}$ $\emptyset$ KH i wieku dla grupy mężczyzn.....           | 84 |
| Tab. 26. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność $\bar{x}$ $\emptyset$ KH i wieku dla grupy kobiet .....   | 85 |
| Tab. 27. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>$\bar{x}$ $\emptyset$ KH i wieku dla grupy kobiet.....             | 86 |
| Tab. 28. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność $\bar{x}$ GBZ i wieku dla grupy ogólnej.....              | 87 |
| Tab. 29. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>$\bar{x}$ GBZ i wieku dla grupy ogólnej .....                      | 88 |
| Tab. 30. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność $\bar{x}$ GBZ i wieku dla grupy mężczyzn.....             | 89 |

|   |     |
|---|-----|
| Tab. 31. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>śr GBZ i wieku dla grupy mężczyzn .....       | 90  |
| Tab. 32. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność śr GBZ i wieku dla grupy kobiet..... | 91  |
| Tab. 33. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>śr GBZ i wieku dla grupy kobiet .....         | 92  |
| Tab. 34. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność PBM i wieku dla grupy ogólnej .....  | 93  |
| Tab. 35. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>PBM i wieku dla grupy ogólnej.....            | 94  |
| Tab. 36. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność PBM i wieku dla grupy mężczyzn ..... | 95  |
| Tab. 37. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>PBM i wieku dla grupy mężczyzn.....           | 96  |
| Tab. 38. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność PBM i wieku dla grupy kobiet .....   | 97  |
| Tab. 39. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>PBM i wieku dla grupy kobiet.....             | 98  |
| Tab. 40. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność POs i wieku dla grupy ogólnej .....  | 99  |
| Tab. 41. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>POs i wieku dla grupy ogólnej.....            | 100 |
| Tab. 42. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność POs i wieku dla grupy mężczyzn ..... | 101 |
| Tab. 43. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>POs i wieku dla grupy mężczyzn.....           | 102 |
| Tab. 44. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność POs i wieku dla grupy kobiet .....   | 103 |
| Tab. 45. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>POs i wieku dla grupy kobiet.....             | 104 |

|   |     |
|---|-----|
| Tab. 46. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność PFOs i wieku dla grupy ogólnej.....  | 105 |
| Tab. 47. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>PFOs i wieku dla grupy ogólnej .....  | 106 |
| Tab. 48. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność PFOs i wieku dla grupy mężczyzn.....   | 107 |
| Tab. 49. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>PFOs i wieku dla grupy mężczyzn .....   | 108 |
| Tab. 50. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność PFOs i wieku dla grupy kobiet.....   | 109 |
| Tab. 51. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>PFOs i wieku dla grupy kobiet .....   | 110 |
| Tab. 52. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność długości obojczyka i wieku .....   | 111 |
| Tab. 53. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność szerokości obojczyka i wieku.....  | 113 |
| Tab. 54. Wyniki modelu regresji jednowymiarowej badającej<br>zależność grubości obojczyka i wieku.....  | 115 |
| Tab. 55. Wyniki modelu standardowej regresji wielowymiarowej<br>badającej zależność wszystkich parametrów i wieku dla<br>grupy ogólnej. ....                        | 117 |
| Tab. 56. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>wszystkich predyktorów i wieku dla grupy ogólnej .....  | 118 |
| Tab. 57. Wyniki modelu postępującej regresji wielowymiarowej<br>badającej zależność wybranych parametrów i wieku dla<br>grupy ogólnej. ....                         | 119 |
| Tab. 58. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>wybranych predyktorów modelu postępującej regresji<br>wielowymiarowej i wieku dla grupy ogólnej ..... | 120 |
| Tab. 59. Wyniki modelu wstecznej regresji wielowymiarowej badającej<br>zależność wybranych parametrów i wieku dla grupy ogólnej.....                                | 121 |

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 60. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>wybranych predyktorów modelu wstecznej regresji<br>wielowymiarowej i wieku dla grupy ogólnej .....     | 122 |
| Tab. 61. Wyniki modelu standardowej regresji wielowymiarowej<br>badającej zależność wszystkich parametrów i wieku dla grupy<br>mężczyzn.....                         | 123 |
| Tab. 62. Wartości przewidywane i reszty badania zależności wszystkich<br>predyktorów i wieku dla grupy mężczyzn.....   | 124 |
| Tab. 63. Wyniki modelu postępującej regresji wielowymiarowej<br>badającej zależność wszystkich parametrów i wieku dla<br>grupy mężczyzn. ....                        | 125 |
| Tab. 64. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>wybranych predyktorów modelu postępującej regresji<br>wielowymiarowej i wieku dla grupy mężczyzn ..... | 126 |
| Tab. 65. Wyniki modelu wstecznej regresji wielowymiarowej<br>badającej zależność wybranych parametrów i wieku dla<br>grupy mężczyzn. ....                            | 127 |
| Tab. 66. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>wybranych predyktorów modelu wstecznej regresji<br>wielowymiarowej i wieku dla grupy mężczyzn .....    | 128 |
| Tab. 67. Wyniki modelu standardowej regresji wielowymiarowej<br>badającej zależność wszystkich parametrów i wieku dla<br>grupy kobiet. ....                          | 129 |
| Tab. 68. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>wszystkich predyktorów i wieku dla grupy kobiet.....   | 130 |
| Tab. 69. Wyniki modelu postępującej regresji wielowymiarowej<br>badającej zależność wybranych parametrów i wieku dla<br>grupy kobiet. ....                           | 131 |
| Tab. 70. Wartości przewidywane i reszty badania zależności<br>wybranych predyktorów modelu postępującej regresji<br>wielowymiarowej i wieku dla grupy kobiet .....   | 132 |

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 71. Wyniki modelu wstecznej regresji wielowymiarowej badającej zależność wybranych parametrów i wieku dla grupy kobiet. ....  | 133 |
| Tab. 72. Wartości przewidywane i reszty badania zależności wybranych predyktorów modelu wstecznej regresji wielowymiarowej i wieku dla grupy kobiet .....                              | 134 |
| Tab. 73. Intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000 $\text{cm}^{-1}$ dla próbek części zbitej obojczyka dzieci w różnym wieku.....                       | 141 |
| Tab. 74. Intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000 $\text{cm}^{-1}$ dla próbek części zbitej obojczyka kobiet o zróżnicowanym wieku.....                | 142 |
| Tab. 75. Intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000 $\text{cm}^{-1}$ dla próbek części zbitej obojczyka mężczyzn o zróżnicowanym wieku.....              | 143 |
| Tab. 76. Intensywności pasm absorpcyjnych widm w zakresie liczby falowej 400-4000 $\text{cm}^{-1}$ dla próbek części zbitej obojczyka człowiek i kości udowej krowi, świni i kury..... | 144 |
| Tab. 77. Współczynniki regresji liniowej jednowymiarowej dla każdego z wybranych parametrów diagnostycznych. ....  | 152 |
| Tab. 78. Zbiorcze zestawienie estymacji wieku analizą regresji jednowymiarowej.....  | 154 |
| Tab. 79. Zbiorcze zestawienie estymacji wieku analizą regresji wielowymiarowej dla grupy ogólnej .....   | 156 |
| Tab. 80. Zbiorcze zestawienie estymacji wieku analizą regresji wielowymiarowej dla grupy mężczyzn .....  | 157 |
| Tab. 81. Zbiorcze zestawienie estymacji wieku analizą regresji wielowymiarowej dla grupy kobiet .....  | 157 |

|   |    |
|---|----|
| Fot. 1. Preparat histologiczny obojczyka kobiety w wieku 66 lat,<br>przygotowany czterema różnymi metodami: .....                           | 48 |
| Fot. 2. Preparat histologiczny obojczyka kobiety w wieku 42 lat<br>przygotowany czterema różnymi metodami: .....                            | 49 |
| Fot. 3. Preparat histologiczny obojczyka mężczyzny w wieku 23 lata,<br>przygotowany czterema różnymi metodami: .....                        | 50 |
| Fot. 4. Preparat histologiczny obojczyka kobiety w wieku 78 lat,<br>przygotowany czterema różnymi metodami: .....                           | 51 |
| Fot. 5. Preparat histologiczny obojczyka kobiety w wieku 56 lat,<br>przygotowany czterema różnymi metodami: .....                           | 52 |
| Fot. 6.(A-D) Analizowane pola widzenia szlifów trzonu obojczyka<br>kobiety w wieku 60 lat. (przypadek nr 297/05) .....                      | 53 |
| Fot. 7. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifów końca przyśrodkowego<br>obojczyka kobiety w wieku 60 lat. (przypadek nr 297/05) .....       | 53 |
| Fot. 8. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifów końca bocznego<br>obojczyka kobiety w wieku 60 lat. (przypadek nr 297/05) .....             | 53 |
| Fot. 9. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifów trzonu obojczyka<br>mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 298/05) .....                   | 54 |
| Fot. 10. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifów końca<br>przyśrodkowego obojczyka mężczyzny w wieku 40 lat.<br>(przypadek nr 298/05) ..... | 54 |
| Fot. 11. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifów końca bocznego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 298/05) .....          | 54 |
| Fot. 12. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifów trzonu obojczyka<br>mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 300/05) .....                  | 55 |
| Fot. 13. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifów końca przyśrodkowego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 300/05) .....    | 55 |
| Fot. 14. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifów końca bocznego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 40 lat. (przypadek nr 300/05) .....          | 55 |
| Fot. 15. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifów trzonu obojczyka<br>mężczyzny w wieku 47 lat. (przypadek nr 301/05) .....                  | 56 |



|  |    |
|--|----|
| Fot. 16. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania końca przyśrodkowego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 47 lat. (przypadek nr 301/05) ..... | 56 |
| Fot. 17. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania końca bocznego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 47 lat. (przypadek nr 301/05) .....       | 56 |
| Fot. 18. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania trzonu obojczyka<br>mężczyzny w wieku 46 lat. (przypadek nr 309/05).....                | 57 |
| Fot. 19. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania końca przyśrodkowego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 46 lat. (przypadek nr 309/05) ..... | 57 |
| Fot. 20. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania końca bocznego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 46 lat. (przypadek nr 309/05) .....       | 57 |
| Fot. 21. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania trzonu obojczyka<br>mężczyzny w wieku 33 lata. (przypadek nr 314/05) .....              | 58 |
| Fot. 22. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania końca przyśrodkowego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 33 lata. (przypadek nr 314/05)..... | 58 |
| Fot. 23. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania końca bocznego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 33 lata. (przypadek nr 314/05).....       | 58 |
| Fot. 24. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania trzonu obojczyka<br>mężczyzny w wieku 54 lata. (przypadek nr 317/05) .....              | 59 |
| Fot. 25. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania końca przyśrodkowego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 54 lata. (przypadek nr 317/05)..... | 59 |
| Fot. 26. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania końca bocznego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 54 lata. (przypadek nr 317/05).....       | 59 |
| Fot. 27. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania trzonu obojczyka<br>mężczyzny w wieku 23 lata. (przypadek nr 334/05) .....              | 60 |
| Fot. 28. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania końca przyśrodkowego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 23 lata. (przypadek nr 334/05)..... | 60 |
| Fot. 29. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania końca bocznego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 23 lata. (przypadek nr 334/05).....       | 60 |
| Fot. 30. (A-D) Analizowane pola widzenia szlifowania trzonu obojczyka<br>kobiety w wieku 78 lat. (przypadek nr 337/05) .....                 | 61 |

|  |     |
|--|-----|
| Fot. 31. (A-D) Analizowane pola widzenia szlif u końca przysrodkowego<br>obojczyka kobiety w wieku 78 lat. (przypadek nr 337/05) .....   | 61  |
| Fot. 32. (A-D) Analizowane pola widzenia szlif u końca bocznego<br>obojczyka kobiety w wieku 78 lat. (przypadek nr 337/05) .....         | 61  |
| Fot. 33. (A-D) Analizowane pola widzenia szlif u trzonu obojczyka<br>mężczyzny w wieku 62 lata. (przypadek nr 342/05) .....              | 62  |
| Fot. 34. (A-D) Analizowane pola widzenia szlif u końca przysrodkowego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 62 lata. (przypadek nr 342/05)..... | 62  |
| Fot. 35. (A-D) Analizowane pola widzenia szlif u końca bocznego<br>obojczyka mężczyzny w wieku 62 lata. (przypadek nr 342/05).....       | 62  |
| Fot. 36. Szlif trzonu obojczyka 59-letniego mężczyzny, światło<br>przechodzące, powiększenie x50.....                                    | 135 |
| Fot. 37. Szlif trzonu obojczyka 59-letniego mężczyzny, światło<br>przechodzące, powiększenie x100.....                                   | 135 |
| Fot. 38. (A, B) Szlif trzonu spalonego obojczyka 22-letniego mężczyzny,<br>światło przechodzące, powiększenie x50 .....                  | 136 |
| Fot. 39. Szlif trzonu spalonego obojczyka 22-letniego mężczyzny,<br>światło przechodzące, powiększenie x100 .....                        | 136 |
| Fot. 40. Szlif trzonu obojczyka 54-letniego mężczyzny, światło<br>spolaryzowane, powiększenie x50.....                                   | 137 |
| Fot. 41. Szlif trzonu obojczyka 54-letniego mężczyzny, światło<br>spolaryzowane, powiększenie x100.....                                  | 137 |
| Fot. 42. Szlif trzonu kości udowej świni, światło przechodzące,<br>powiększenie x50.....   | 138 |
| Fot. 43. Szlif trzonu kości udowej świni, światło spolaryzowane,<br>powiększenie x50.....  | 138 |
| Fot. 44. Szlif trzonu kości udowej krowy, światło przechodzące,<br>powiększenie x50.....   | 139 |
| Fot. 45. Szlif trzonu kości udowej krowy, światło spolaryzowane,<br>powiększenie x50.....  | 139 |

### 13. Wykaz skrótów

**IOs** - liczba osteonów,

**KH >70 $\mu$ m** - liczba osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70 $\mu$ m,

**śr  $\emptyset$  KH** - średnia średnica kanałów Haversa,  $\mu$ m,

**PBM** - powierzchnia zajmowana przez blaszki międzysystemowe (%),

**POs** - powierzchnia zajmowana przez osteony (%),

**PFOs** - powierzchnia zajmowana przez fragmenty - pozostałości po przebudowanych osteonach (%),

**śr GBZ** - średnia grubość blaszek kostnych zewnętrznych,  $\mu$ m,

**KH >70 $\mu$ m, %** - stosunek liczby osteonów z kanałem Haversa o średnicy >70 $\mu$ m do ogólnej ilości osteonów (%).