



Politechnika Łódzka

Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa
Tekstyliów

Monika Anna Bałach - Kinsella

**ROZWAŻANIA NA TEMAT WSKAŹNIKA
OKREŚLAJĄCEGO JAKOŚĆ DOPASOWANIA
ODZIEŻY DO SYLWETKI UŻYTKOWNIKA ZA
POMOCĄ SKANERA 3D ORAZ SYSTEMU CAD**

Rozprawa doktorska napisana pod kierunkiem:

Prof. inż. Iwony Frydrych

Dr. inż. Agnieszki Cichockiej

Łódź 2023

Spis treści

SPIS SYMBOLI	4
1 WPROWADZENIE	8
1.1 UZASADNIENIE TEMATYKI PODJĘTEJ W PRACY DOKTORSKIEJ	9
1.2 CEL I TEZA PRACY	10
2 AKTUALNY STAN WIEDZY W ŚWIETLE LITERATURY	11
2.1 ODZIEŻ I DEFINICJA ODZIEŻY	11
2.2 MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW ODZIEŻOWYCH	12
2.2.1 <i>System FAST</i>	12
Ściskanie przy użyciu przyrządu FAST – 1	14
Zginanie przy użyciu przyrządu FAST – 2	15
Rozciąganie przy użyciu przyrządu FAST – 3	16
Test stabilności wymiarowej przy użyciu przyrządu FAST – 4	17
2.2.2 <i>Wyznaczanie właściwości mechanicznych tkanin przy użyciu system KES-FB</i>	18
Przyrząd do pomiaru rozciągania i ścinania tkaniny KES – FB1	19
Przyrząd do wyznaczenia sztywności zginania KES – FB2	21
Przyrząd do pomiaru współczynnika ściskania KES –FB3	22
Przyrząd do badań właściwości powierzchniowych KES – FB4	23
2.2.3 <i>Podatność na formowanie</i>	24
2.3 UKŁADALNOŚĆ TKANINY I METODY JEJ POMIARU	27
2.4 ZNACZENIE STOPNIA DOPASOWANIA ODZIEŻY	31
2.5 LUZY ODZIEŻOWE PRZY RÓŻNYCH TYPACH ODZIEŻY	32
2.6 KOMFORT UŻYTKOWY ODZIEŻY – DEFINICJA I ZNACZENIE	35
2.6.1 <i>Czynniki wpływające na komfort psychologiczny</i>	37
2.6.2 <i>Czynniki społeczne</i>	39
2.6.3 <i>Czynniki ekonomiczne</i>	40
2.6.4 <i>Czynniki środowiskowe</i>	40
2.6.5 <i>Czynniki fizyczne</i>	41
2.7 ANTROPOMETRIA W ODZIEŻOWNICTWIE	41
2.8 PŁASZCZYZNY CIAŁA CZŁOWIEKA	42
2.9 BUDOWA I PODZIAŁ MANEKINÓW	44
2.10 BUDOWA I PODZIAŁ AWATARÓW	46
2.11 SKANERY 3D – BEZKONTAKTOWE METODY POMIAROWE	49
2.12 SYSTEMY CAD/CAM I CIM	54
2.13 FORMY ODZIEŻOWE I FORMAT ICH ZAPISYWANIA W SYSTEMACH CAD	57
2.14 BADANIA I ROZWAŻANIA NA TEMAT WIRTUALNYCH PRZYMIAREK ODZIEŻY	59
2.15 MODELE MATEMATYCZNE MATERIAŁÓW TEKSTYLNICH WYKORZYSTYWANYCH W PROGRAMACH DO PRZEPROWADZANIA SYMULACJI ODZIEŻY W 3D	63
2.16 ODCZYT WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH MATERIAŁÓW I ICH RELACJA DO WIRTUALNEJ UKŁADALNOŚCI ODZIEŻY PODCZAS PRZYMIARKI 3D	67
2.17 PODSUMOWANIE I WNIOSKI Z PRZEGLĄDU LITERATURY	73
3 CZĘŚĆ EMPIRYCZNA.....	75
3.1 ZAKRES PRACY DOŚWIADCZALNEJ	75
3.2 OPIS FORMY ODZIEŻOWEJ ZASTOSOWANEJ W BADANIU	78
3.3 OPIS MANEKINA ANTROPOMETRYCZNEGO ZASTOSOWANEGO W EKSPERYMENCIE	90
3.3.1 <i>Budowa awatara wykorzystanego w eksperymencie</i>	91
3.4 OPIS RODZAJU MATERIAŁÓW WYKORZYSTANYCH DO BADAŃ	94
3.5 BADANIE TKANIN PRZY UŻYCIU SYSTEMU KES-FB	97
3.6 ZASTOSOWANY MODEL MATEMATYCZNY TKANINY WIRTUALNEJ W PRZEPROWADZANYM EKSPERYMENCIE	97

3.7	WSPÓŁCZYNNIK PODATNOŚCI WYZNACZONY PRZY UŻYCIU KES-FB	99
3.7.1	Podatność na formowanie F_{MB}	101
3.7.2	Podatność na formowanie F_s	101
3.7.3	Podatność na formowanie F_{KES}	102
3.8	PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA	102
3.8.1	Określenie lokalizacji przekrojów poprzecznych na awatarze.....	104
3.8.2	Tworzenie przekrojów poprzecznych awatara	106
3.8.3	Budowa algorytmów z wprowadzeniem współczynnika podatności na formowanie	107
3.8.4	Budowa algorytmu do automatycznego zszywania odzieży w środowisku wirtualnym	109
3.9	PODSUMOWANIE I WNIOSKI CZĘŚCI EMPIRYCZNEJ.....	111
4	ANALIZA PORÓWNAWCZA WYNIKÓW BADAŃ	113
4.1	ANALIZA PORÓWNAWCZA - JAKOŚCIOWA BLUZKI RZECZYWISTEJ (ZESKANOWANEJ) Z BLUZKĄ WIRTUALNĄ	114
4.1.1	Porównanie przekrojów poprzecznych konturów bluzki dla tkaniny 01B	114
4.1.1.1	Porównanie przekrojów poprzecznych na wysokości klatki piersiowej (PPKP) dla tkaniny 01B	115
4.1.1.2	Porównanie przekrojów poprzecznych na wysokości talii (PPT) dla tkaniny 01B	117
4.1.1.3	Porównanie przekrojów poprzecznych na wysokości bioder (PPB) dla tkaniny 01B	119
4.2	ANALIZA PORÓWNAWCZA - ILOŚCIOWA BLUZKI RZECZYWISTEJ (ZESKANOWANEJ) Z BLUZKĄ WIRTUALNĄ	121
4.2.1	Wykresy radarowe analizy przekrojów poprzecznych bluzki dla tkaniny 01B.....	122
4.2.2	Wykresy radarowe analizy przekrojów poprzecznych bluzki dla tkaniny 02P.....	124
4.2.3	Wykresy radarowe analizy przekrojów poprzecznych bluzki dla tkaniny 03Z.....	126
4.2.4	Wyznaczanie różnic badanych cech	129
4.3	ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW BADAŃ	133
4.3.1	Obliczanie współczynnika korelacji linowej pomiędzy wartościami „promieni” dla bluzki rzeczywistej i wirtualnej dla tkaniny 01B	134
4.3.2	Obliczanie współczynnika korelacji linowej pomiędzy wartościami „promieni” dla bluzki rzeczywistej i wirtualnej dla tkaniny 02P	135
4.3.3	Obliczanie współczynnika korelacji linowej pomiędzy wartościami „promieni” dla bluzki rzeczywistej i wirtualnej dla tkaniny 03Z.....	136
5	PODSUMOWANIE I WNIOSKI	137
6	BIBLIOGRAFIA	140
	ZAŁĄCZNIKI.....	149

Spis symboli

a – położenie oczka w przestrzeni,

A₁ – pole powierzchni krążka podtrzymującego,

A₂ – pole powierzchni oryginalnej wyciętej próbki,

A_d – pole powierzchni cienia próbki,

AAMA - *American Apparel Manufacturers Association* (Amerykańskie Stowarzyszenie Producentów),

ASTM – *Standards practice for sew products pattern data interchange – data format* (Standardowy System Zapisywania Szablonów odzieżowych),

B – linia bioder,

B – sztywność zginania,

c – linia ciała pachowa tylna

c – długość gięcia próbki,

C – moduł początkowy przy rozciąganiu,

C++ – język programowania przeznaczony do wspierania paradygmatów imperatywnych i obiektowy oraz programowania generycznego,

CAD – *Computer Aided Design*,

CAM – *Computer Aided Manufacture*,

CIM – *Computer Integrate Manufacture*,

CAT – *Computer Aided Testing*,

dk – dodatek konstrukcyjny,

DC – współczynnik układalności,

DXF – *drawing exchange format*,

E5 – wydłużenie przy obciążeniu 5 G/cm,

E20 – wydłużenie przy obciążeniu 20 G/cm,

E100 – wydłużenie przy obciążeniu 100 G/cm,

EB5 – wydłużenie po skosie przy obciążeniu 5 G/cm,

EMT – wydłużenie lub rozciągliwość, w % odkształcenie przy maksymalnej przyłożonej sile,

F – siła,

F_{FAST} – podatność na formowanie zaproponowane przez danych systemu FAST,

F_{MB} – podatność na formowanie zaproponowane przez Autora rozprawy,

F_S – podatność na formowanie z uwzględnieniem sztywności ścinania,

F_{KES} – podatność na formowanie z uwzględnieniem danych z systemu KES-FB,

F_L – podatność na formowanie wg Lindberga,

g – przyspieszenie ziemskie,

G – moduł sztywności postaciowej,

H – linia kostki stopy,

$2HB$ – szerokość pętli histerezy przy zginaniu,

$2HG$ – szerokość pętli histerezy przy ścinaniu przy $\Phi = 0,5^\circ (N/m)$,

$2HG5$ – szerokość pętli histerezy przy $\Phi = 0,5^\circ (N/m)$,

K – linia kolana,

k – współczynnik proporcjonalności,

l – długość zwisu,

l – linia ciała pachowa przednia,

L_1 – wymiar próbki w stanie suchym,

L_2 – wymiar próbki w stanie mokrym,

L_3 – wymiar próbki po jej ponownym suszeniu,

LC – liniowość przy ściskaniu,

LT – liniowość krzywej rozciągania podczas obciążenia,

m – masa,

M_1 – obszar papierowego pierścienia,

M_2 – obszar zwisającej tkaniny,

MES – model elementów skończonych,

MIU – średnia wartość współczynnika tarcia,

MMD – średnie odchylenie współczynnika tarcia,

MTM – made to measure – szycie na miarę,

$MUPM$ – model układu punktów masy,

NN_2 – szerokość rękawa na linii dołu,

obt – obwód talii,
ot – obwód tali,
opx – obwód klatki piersiowej,
os – obwód szyi,
P – linia pachy,
P – ciśnienie zastosowane podczas pomiaru,
PcPl – szerokość pachy,
PPB – przekrój poprzeczny bioder,
PPK – przekrój poprzeczny klatki piersiowej,
PPT – przekrój poprzeczny talii,
R – linia barków,
RC – odprężność przy ściskaniu,
RS – kurczliwość relaksacyjna,
RvNv – łuk długości kończyny górnej,
R4N1 – długość rękawa,
R4P10 – długości główki rękawa,
R4R5 – szerokość rękawa,
S – linia szyi,
SMD – średnie odchylenie chropowatości powierzchni,
ST – grubość warstw powierzchniowych,
STR – grubość warstwy powierzchniowej po obróbce parą,
SySvXp – łuk długości przodu do piersi,
SySvXpTp – łuk długości przodu przez piersi,
SyTy – łuk długości pleców,
T – linia talii,
T – grubość płaskiego wyrobu włókienniczego,
T2 – grubość, przy obciążeniu 2 g/cm²,
T2R – grubość T2 uwalniana po obróbce parą,
T100 – grubość, przy obciążeniu 100 g/cm²,

T100R – grubość T100 uwalniana po obróbce parą,

TT – płaszczyzna poprzeczna,

U – linia krocza,

\dot{v} - pochodna prędkości po czasie,

v – linia ciała tylna,

VV – płaszczyzna czołowa,

W – linia wierzchołka głowy,

WC – energia potrzebna do ściskania,

Wk – komfort noszenia odzieży,

WT - energia rozciągania na jednostkę powierzchni badanej próbki,

x – linia ciała środkowa przednia,

X – linia piersi,

XcXc – łuk szerokości przodu przez piersi,

XY – płaszczyzna strzałkowa,

y – linia ciała środkowa tylna,

Z – linia podstawy,

Zwo – wzrost,

δ – naprężenie,

ε – wydłużenie względne tkaniny,

v – stała proporcjonalna,

01B – tkanina bawełniana o splocie płóciennym,

02P – tkanina bawełniana o splocie skośnym,

03Z – tkanina bawełniana i wiskozowa o splocie płóciennym.

1 Wprowadzenie

W obecnej dekadzie XXI wieku do produkcji odzieży w warunkach przemysłowych wykorzystywane są programy, które służą do przymiarek odzieży w trójwymiarowej przestrzeni w środowisku wirtualnym. Oprogramowania dla przemysłu odzieżowego są technicznie zaawansowane. Do tworzenia programów w systemie CAD/CAM dla odzieżownictwa, angażowane są różne dziedziny nauk technicznych takie jak fizyka, matematyka, informatyka i odzieżownictwo. W niniejszej pracy Autor porusza zagadnienia matematyczne i odzieżowe w celu uaktualnienia oraz rozbudowania programu do wirtualnych przymiarek odzieży.

Pracę podzielono na część teoretyczną, empiryczną analizę wyników badań, w tym statystyczną. W części teoretycznej zawarte są zagadnienia pomiarów ciała człowieka z wykorzystaniem skanerów, przegląd manekinów i awatarów w systemach CAD/CAM, opis i zasady działania programów do przymiarek 3D, pojęcia komfortu, luzów odzieżowych, układalności tkaniny, wskaźnika podatności na formowanie oraz wyznaczania właściwości mechanicznych tkanin.

W pracy została wykorzystana szeroka literatura przedmiotu. Ze względu na złożoność podjętego problemu badawczego starano się omawiać poszczególne zagadnienia w zakresie związanym z tematyką pracy. Należy zauważyć, jednakże, że w niewielu opracowaniach naukowych poruszane były zagadnienia związane z układalnością tkaniny w przestrzeni 3D. Dokonana przez Autora analiza przeglądu literatury obejmuje w szczególności zrozumienie sposobu dopasowania odzieży do sylwetki ludzkiej. Następnie zostały przedstawione problemy związane ze zróżnicowaną budową ciała człowieka, które mają bardzo duży wpływ na dopasowanie odzieży do sylwetki ludzkiej. Kolejnym poruszonym problemem było wyjaśnienie tematyki płaskich wyrobów włókienniczych oraz ich mechanicznych właściwości, a także stopnia wpływu tych wyrobów i ich właściwości na układalność tkaniny na sylwetce człowieka. Kolejnym i ostatnim z analizowanych zagadnień były czynniki psychologiczne, termiczne itp., które w znacznym stopniu wpływają na wybór odzieży przez użytkownika o określonych preferencjach.

Skanery 3D wykorzystane do skanowania budowy ciała człowieka, a także systemy KES-FB i FAST wykorzystane do badania płaskich wyrobów włókienniczych, zostały szczegółowo omówione w rozprawie doktorskiej ze względu na ich istotną rolę oraz praktyczne wykorzystanie w celu zebrania danych do części badawczej pracy doktorskiej.

Przedstawione powyżej kategorie materiałów źródłowych dały bogaty zbiór informacji. Zgodnie z przyjętym zamierzeniem udało się w ten sposób pozyskać większość danych pozwalających dokonać analizy badanego problemu.

Część empiryczna zawiera opis przebiegu badań, tj: opis i przebieg konstrukcji bluzki, jak i metody odszycia, skanowanie manekina bez odzieży na górną część ciała, oraz manekina z bluzkami odszytymi przez Autora. Praca zawiera proces budowy awatarów na potrzeby przemysłu odzieżowego, są to awatary zbliżone do rzeczywistego wyglądu człowieka.

Ponadto część empiryczna zawiera opis budowy kodu do automatycznego szycia odzieży z wykorzystaniem pliku DXF i języka Python, jak i wprowadzenie za pomocą języka C++ i programu Blender nowych wskaźników podatności na formowanie do określenia jakości dopasowania odzieży do sylwetki człowieka.

Część analityczna to część, w której jest przeprowadzana analiza układalności tkaniny na ciele awatara z wykorzystaniem wcześniej wprowadzonych wskaźników określających jakość dopasowania tkaniny do sylwetki poprzez porównywanie wyznaczonych na wskazanych poziomach przekrojów porzecznych bluzek rzeczywistych oraz otrzymanych w wyniku przeprowadzonych symulacji. W tej części wykorzystywana analiza porównawcza, w tym statystyczna. Uzyskane wyniki, czyli obrazy wizualne awatara odzianego w bluzki, jak i przekroje poprzeczne awatarów ubranych w odszyte bluzki, są zapisane jako Załączniki, jak również zestawione w tabelach wyników badań.

1.1 Uzasadnienie tematyki podjętej w pracy doktorskiej

Dotychczasowe wirtualne przymiarki nie odwzorowują realnej układalności materiału na ciele człowieka, tak więc trudno jest przeprowadzić właściwą analizę pasowalności odzieży na ciele. Bryła, na którą jest przymierzana odzież nie odwzorowuje naturalnych kształtów człowieka, co wpływa na niekorzystną i nienaturalną układalność tkaniny na awatarze. Parametry, które charakteryzują tkaniny to najczęściej masa powierzchniowa i grubość tkaniny, współczynnik tarcia, sztywność zginania, sztywność postaciowa oraz wytrzymałość tkaniny. Wszystkie powyższe właściwości są mniej lub bardziej uwzględnione w parametrach tkanin w różnych systemach CAD/CAM. Układalność materiału to bardzo ważna cecha dla wyrobów włókienniczych, gdyż ma ona wpływ na ich wygląd w czasie procesu realizacji wirtualnej przymiarki, która może przesądzić o pozytywnej ewaluacji danego wyrobu odzieżowego.

Pierwszym problemem będzie wyznaczenie wskaźnika podatności na formowanie. Dotychczas do opisu mechanicznych właściwości tkanin wpływających na podatność na formowanie brano pod uwagę wskaźnik Lindberg'a. Do badania właściwości mechanicznych tkaniny posłuży system KES-FB. Kolejnym problemem będzie ocena pasowalności tkaniny. W tym zakresie Autor przeprowadzi badania empiryczne na podstawie uzyskanych symulacji bluzki. Symulacje przymiarek odzieży będą przeprowadzone w programie Blender, gdyż jest to program z otwartą licencją (open source), gdzie zachodzi proces generowania algorytmów w języku Python i C++.

Badania podjęte w pracy doktorskiej mają na celu zautomatyzowanie systemów CAD/CAM w celu szybszej i lepszej analizy wirtualnych przymiarek odzieżowych. Obecne systemy charakteryzują się półautomatycznymi funkcjami, czyli wymagana jest ingerencja człowieka oraz jego wiedza i umiejętności. Autor pracy przedstawia i rozbudowuje możliwości systemów CAD/CAM do automatycznego przymierzania odzieży dla indywidualnych klientów w wirtualnej przestrzeni. Automatyczne przymiarki

pozwolą na dobór odpowiedniego rozmiaru odzieży do wymiarów ciała człowieka, stopniowania form odzieżowych oraz automatyczne szycie form danej odzieży bez ingerencji i wiedzy technologa. Proces skanowania osoby do przymiarki odzieży w wirtualnej przestrzeni jest w całości zautomatyzowany.

Zautomatyzowanie procesu szycia 3D polegać będzie na stworzeniu algorytmu „czytającego” format DXF w dwuwymiarowej przestrzeni, w którym są zapisywane formy odzieżowe. W tym etapie następuje łączenie form odzieży w całość, czyli otrzymanie gotowego wyrobu odzieżowego na awatarze.

1.2 Cel i teza pracy

Jak wspomniano powyżej współczynniki układalności i podatności na formowanie tkanin stosowane w programach do wirtualnej przymiarki nie pozwalają zobrazować realnego wizerunku odzieży na ciele.

A zatem celem pracy jest zaproponowanie takiego wskaźnika podatności na formowanie, który poprawiłby w 3D odwzorowanie układalności bluzki rzeczywistej. Współczynnik ten powinien bazować na danych z systemu KES-FB.

Autor rozprawy będzie starał się opracować nowe wskaźniki podatności na formowanie oraz wprowadzić je do systemu CAD. Analiza wyników pozwoli na wybranie optymalnego wskaźnika do określenia jakości dopasowania odzieży do sylwetki.

W powyższej pracy Autor będzie starał się udowodnić następującą tezę:

Zmodyfikowanie metrologicznego wskaźnika podatności na formowanie płaskiego wyrobu włókienniczego, wprowadzenie go do systemu CAD i przeprowadzenie symulacji bluzek z nowym współczynnikiem podatności na formowanie pozwoli poprawić jakość odwzorowania układalności rzeczywistej bluzek na sylwetce manekina w rzeczywistości wirtualnej uzyskiwanej w programie Blender.

Tego rodzaju badania pomogą także znaleźć nowatorskie rozwiązania w celu wyznaczenia odpowiedniej przestrzeni pomiędzy ciałem a jego okryciem z punktu widzenia jakości dopasowania, biorąc jednocześnie pod uwagę ważny czynnik, jakim są mechaniczne właściwości tkaniny oraz optymalizację czasu szycia form odzieżowych w trójwymiarowej przestrzeni wirtualnej.

2 Aktualny stan wiedzy w świetle literatury

W części teoretycznej Autor skupia się na zaprezentowaniu tematyki związanej z dostosowaniem odzieży do sylwetki ludzkiej. Tematyka ta obejmuje dopasowanie odzieży w środowisku rzeczywistym, a także porusza zagadnienia związane z dopasowaniem ubrań do sylwetki ludzkiej z wykorzystaniem, w tym celu, przestrzeni wirtualnej. Część teoretyczna rozprawy doktorskiej pozwala na zrozumienie podstawowych zagadnień związanych z właściwościami mechanicznymi tkanin, układalnością płaskich wyrobów włókienniczych, budową ciała człowieka w odniesieniu do dopasowania odzieży do sylwetki ludzkiej.

2.1 Odzież i definicja odzieży

Odzież okrywa ciało użytkownika. Zazwyczaj, odzież jest wykonana z tkanin lub innych tekstyliów, ale obejmuje również ubrania wykonane np. ze skóry zwierzęcej. Materiały wykorzystywane w odzieżownictwie są pochodzenia naturalnego, sztucznego lub syntetycznego. Ilość i rodzaj noszonej odzieży zależy od: płci, budowy ciała, czynników społecznych i uwarunkowań geograficznych. Odzież zakrywa ciało, obuwie zakrywa stopy, rękawiczki zakrywają ręce, a czapki i nakrycia głowy zakrywają głowę (Wikipedia, 2022).

Funkcja odzieży jest identyfikowana jako ochrona ciała użytkownika przed warunkami zewnętrznymi, np.: szorstkimi powierzchniami, roślinami powodującymi wysypki, ukąszeniami owadów, itp. stanowiąc barierę między skórą a otoczeniem. Odzież może izolować ciało przed zimnem lub ciepłem, a także stanowić barierę higieniczną, utrzymując substancje zakaźne i toksyczne z dala od ciała. Odzież chroni ciało przed urazami w określonych zadaniach i zawodach, np.: w sporcie, działaniach wojennych. Odzież, w której występują kieszenie, paski lub szlufki, może stanowić środek do przenoszenia rzeczy, jednocześnie zwalniając ręce.

Michael Batterberry w 1977 postawił pytanie, dlaczego ludzie się ubierają w zróżnicowany sposób i jakie asortymenty noszą na sobie. W naszej kulturze ubrania tradycyjnie pełniły cztery podstawowe funkcje tj.: ochrona ciała, potrzeba wyróżnienia się, wzbudzenie emocji oraz komunikacja za pomocą symboli.

Według Kaisera (1985) trzy powszechnie znane cele ubierania się to skromność, upiększenie i ochrona/użyteczność. Gdy przyjrzymy się tym celom w świetle codziennych sytuacji i dostępnych dowodów naukowych, staje się oczywiste, że żaden pojedynczy cel nie może adekwatnie wyjaśnić zachowania jednostki w zakresie wyboru odzieży. Procesy społeczne związane z upiększaniem i ochroną/użytecznością mogą być ze sobą powiązane. Dlatego jest prawdopodobne, że istnieje więcej niż jeden cel ubierania się w określoną odzież (Riaz, 2004).

2.2 Mechaniczne właściwości materiałów odzieżowych

Tkanina jest strukturą złożoną ze względu na swoją budowę. Jest ona wytwarzana poprzez przeplatanie się dwóch systemów nitki. Zachowanie materiału zależy od jego właściwości mechanicznych, sposobu obciążenia i naprężenia. Wyznaczanie parametrów mechanicznych tkanin jest niezbędne dla procesów odzieżowych, takich jak: konstrukcja form odzieżowych, automatyzacja produkcji odzieży oraz komputerowe wspomaganie produkcji odzieży (Hu, 2004).

Opracowanie Kawabata Evaluation System For Fabric (KES-FB) oraz Fabric Assurance by Simple Testing (FAST) do badań tekstyliów było znaczącym krokiem w rozwoju technologii włókienniczej. Systemy te umożliwiają dokładny i powtarzalny pomiar właściwości mechanicznych tkanin przy niskich naprężeniach, co ułatwia porównywanie wyników badań eksperymentalnych inżynierom lub technologom odzieżowym. System KES-FB pozwala na określenie parametrów definiujących zjawisko rozciągania, ścinania, zginania, ściskania oraz charakterystyki powierzchni tkaniny. Poprzez obiektywny pomiar tych podstawowych właściwości tkaniny technolodzy mają możliwość określania zachowania się tkaniny w odzieży na powierzchni bryły np. ciała człowieka oraz odpowiedniego doboru tkanin do przeznaczenia odzieży (Hu, 2004).

Wytrzymałość i wydłużenie są najważniejszymi parametrami tkanin, decydującymi o właściwościach użytkowych tkaniny (Jahan, 2017). Tkaniny podczas użytkowania odzieży są poddane działaniu różnych sił i odkształceń. Podczas użytkowania odzieży tkaniny są zginane, rozciągane, wypychane itp., a więc od tkaniny wymaga się dobrej wytrzymałości na odkształcenia pod wpływem obciążeń, które działają na odzież. Obciążenia te nie powinny przekraczać granic sprężystości całkowitej tkanin (Żurek, 1983).

2.2.1 System FAST

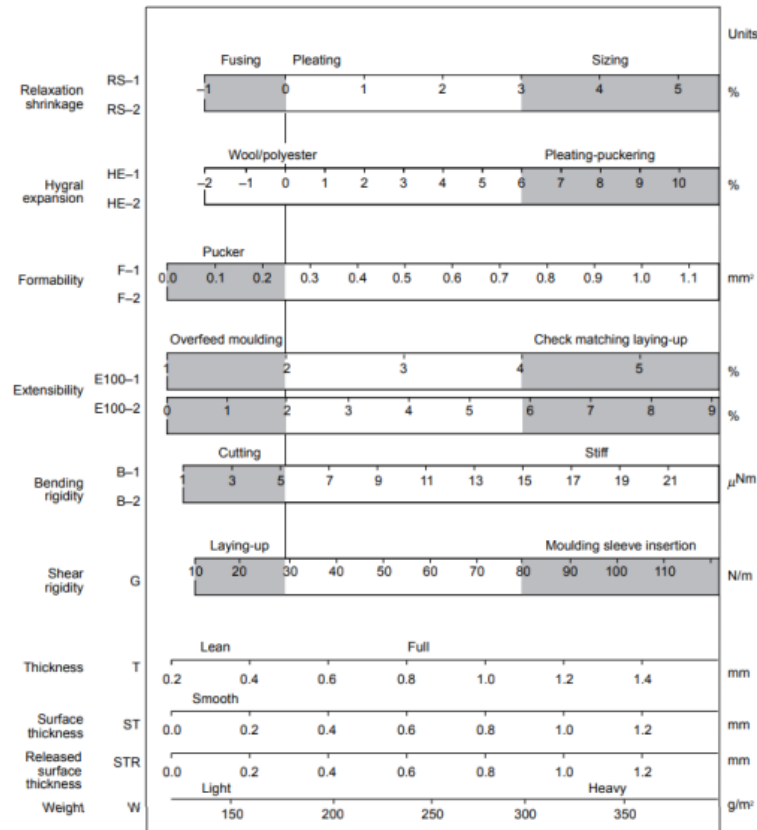
System FAST jest to zestaw przyrządów, które badają charakterystykę tkanin wełnianych. Metody badawcze zostały opracowane przez CSIRO Division of Wool Technology z Australii. Pomiar właściwości tkanin, które wpływają na parametry konfekcyjne materiałów tekstylnych, jak i wygląd odzieży podczas użytkowania, są bardzo ważnymi elementami w odwzorowaniu układalności tkanin w wirtualnej przestrzeni. System FAST składa się z trzech przyrządów i jednej metody badawczej określających konkretne parametry. Badanie wymaga, około pół metra bieżącej tkaniny do przeprowadzenia pełnego zakresu badań. System FAST został opracowany w celu dostarczenia przemysłowi odzieżowemu, rzetelnego i niedrogo rozwiązania do pomiaru właściwości tekstyliów. Używany jest głównie przez producentów materiałów wełnianych, wykończeniowców i producentów odzieży. System FAST ma zastosowanie na wszystkich etapach produkcji i użytkowania materiałów wełnianych. System jest zapisywany w języku, za pomocą którego producenci odzieży i producenci tkanin mogą się komunikować na temat

właściwości tekstyliów i odzieży. Tabela 1 przedstawia parametry mierzone na systemie FAST.

Tabela 1. Przykłady parametrów mierzone w systemie FAST

Mierzona własność	Parametr	Symbol	Jednostka
Ściskanie	Grubość, przy obciążeniu 2 g/cm ²	T2	mm
	Grubość, przy obciążeniu 100 g/cm ²	T100	mm
	Grubość warstw powierzchniowych	ST	mm
	Grubość T2 uwalniana po obróbce parą	T2R	mm
	Grubość T100 uwalniana po obróbce parą	T100R	mm
	Grubość warstwy powierzchniowej uwolniona po obróbce parą	STR	mm
	Stabilność wykończenia	FS	%
Zginanie	Długość gięcia	C	mm
	Sztywność zginania	B	μNm
Rozciąganie	Wydłużenie przy obciążeniu 5 G/cm	E5	%
	Wydłużenie przy obciążeniu 20 G/cm	E20	%
	Wydłużenie przy obciążeniu 100 G/cm	E100	%
	Wydłużenie po skosie przy obciążeniu 5 G/cm	EB5	%
	Moduł sztywności postaciowej	G	N/m
Stabilność wymiarów	Pęcznienie pod wpływem wilgoci	HE	%
	Kurczliwość relaksacyjna	RS	%
Obliczone	Układalność/zdolność do odkształceń	F	-/mm ²
Masa	Masa powierzchniowa	W	G/m ²

Parametry, które są mierzone przez system, rejestrowane są na wykresie kontrolnym, które przedstawia Rysunek 1. Obszary zacienione na wykresie, są to obszary, w których właściwości materiału mogą powodować problemy podczas produkcji. Natomiast granice tych obszarów ustalono na podstawie przebiegu doświadczeń (Hu, 2004).



Rysunek 1. Wykres kontrolny generowany przez system FAST (Giorgio, January 1995)

Jeśli otrzymane wartości wykraczają poza określony zakres, wskazuje to, że należy wykonać modyfikację konkretnej tkaniny. Wykres kontrolny systemu FAST zawiera wszystkie właściwości tkaniny, które są testowane (Das, 2017).

Ściskanie przy użyciu przyrządu FAST – 1

Przyrząd FAST – 1 służy do ściskania płaskich wyrobów włókienniczych. Służy do pomiaru grubości, np. tkaniny o powierzchni próbki 10 cm² przy dwóch obciążeniach tj.: 0,2 kPa i 10 kPa oraz do pomiaru tzw. grubości warstwy powierzchniowej. Grubość płaskiego wyrobu włókienniczego określona literą T wyrażona jest zależnością, które przedstawia Równanie 1.

$$T = k * P^{-1/3} \quad (1)$$

gdzie:

k - współczynnik proporcjonalności [-],

P - ciśnienie zastosowane podczas pomiaru [kPa].

Grubość warstw powierzchniowych to różnica pomiędzy wartością grubości przy obciążeniu 0,2 kPa i 10 kPa (Równanie 2):

$$ST = T2 - T100$$

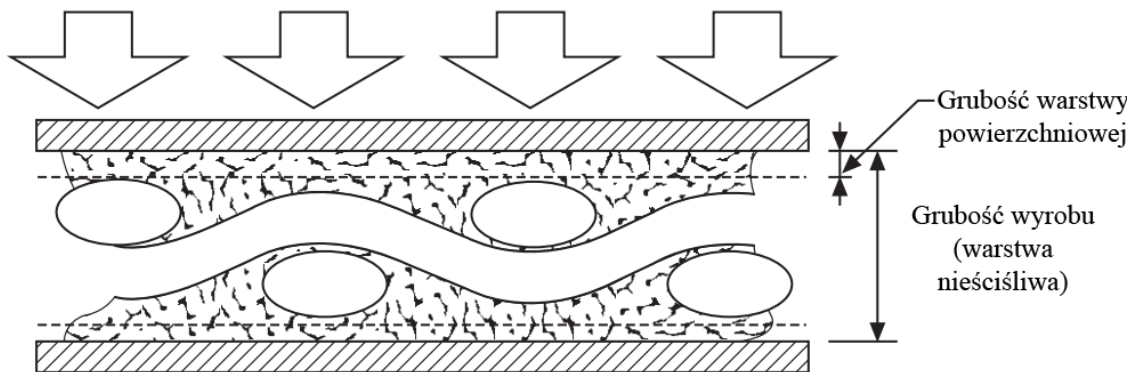
(2)

gdzie:

T2 - grubość mierzona przy ciśnieniu 2 G/cm²,

T100 - grubość mierzona przy ciśnieniu 100 G/cm².

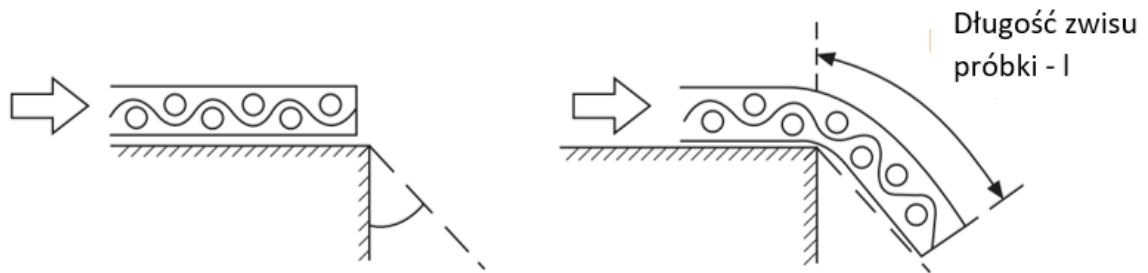
Zasadę pomiaru prezentuje Rysunek 2. Pomiar jest przeprowadzany na modelu wyrobu włókienniczego, w którym ściskane są dwie warstwy powierzchniowe (górna i dolna) oraz usytuowana między nimi warstwa nośna. Warstwy powierzchniowe określane są jako ściśliwe, natomiast warstwa nośna (środek) jako nieściśliwa.



Rysunek 2. Zasada pomiaru przyrządem FAST – 1 (Hu, 2004)

Zginanie przy użyciu przyrządu FAST – 2

Przyrząd FAST – 2 służy do pomiaru sztywności zginania płaskich wyrobów włókienniczych. Badanie polega na pomiarze długości gięcia próbki, na podstawie której można obliczyć sztywność zginania próbki. Rysunek 3 przedstawia schemat pomiaru zginania przy zastosowaniu przyrządu FAST – 2.



Rysunek 3. Zasada pomiaru przyrządem FAST-2 (Hu, 2004).

Urządzenie działa na zasadzie wspornika, która przesuwa próbkę wzdłuż płaskiej powierzchni poza jej krawędź (zgodnie z normą BS: 3356 (1990)), czas przesuwu trwa aż do momentu wygięcia próbki (długość zwisu próbki l) pod określonym kątem równym $41,5^\circ$. W przyrządzie FAST – 2 krawędź próbki jest wykrywana za pomocą fotokomórki.

Sztywność zginania określona symbolem B i wyrażana w $[\mu\text{Nm}]$, definiowana jest jako praca wymagana do zgięcia tkaniny o jednostkę krzywizny. Obliczana jest ona na podstawie długości gięcia i masy powierzchniowej próbki (Równanie 3).

$$B = Wgc^3$$

(3)

gdzie:

W - masa powierzchniowa wyrobu, $[\text{g}/\text{m}^2]$,

g - przyspieszenie ziemskie, $[\text{m}/\text{s}^2]$,

c - długość gięcia, $c=l/2$, $[\text{mm}]$.

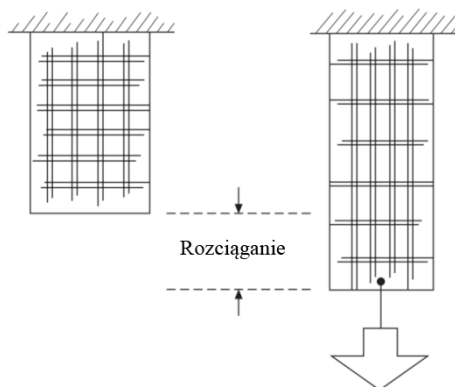
Wyroby włókiennicze, tj. tkaniny o małej sztywności zginania charakteryzują się marszczeniem szwów i są problematyczne w procesie krojenia, zatem trudne do obróbki na zautomatyzowanej linii produkcyjnej. Tkaniny o wysokim współczynniku sztywności zginania wykazują się łatwością podczas procesu szycia, dając szew bez zmarszczeń, natomiast mogą powodować problemy podczas procesu modelowania ze względu na sztywną strukturę.

Rozciąganie przy użyciu przyrządu FAST – 3

Przyrząd FAST – 3 służy do pomiaru względnego wydłużenia próbki pod pewnym określonym obciążeniem.

Próbka mierzona jest przy trzech różnych obciążeniach tj.: 5, 20 i 100 cN/cm.

Obciążenia poddają wyrób włókienniczy pewnej deformacji, jakiej może być poddany podczas produkcji odzieży. Wydłużenie np. tkaniny jest mierzone jako procentowy przyrost długości próbki. Metodę pomiaru pokazuje Rysunek 4. W badaniach względnego wydłużenia próbki zwykle mierzy się rozciągliwość w kierunku osnowy, wątku i po skosie, czyli pod kątem 45°. Rozciąganie próbki wyciętej pod kątem 45° w stosunku do kierunku wątku i osnowy określa w przybliżeniu wartości siły tnącej i kąta odkształcenia postaciowego. W tym przypadku stosowane jest obciążenie 5 cN/cm.



Rysunek 4. Zasada pomiaru wydłużenia przyrządem FAST-3 (Hu, 2004)

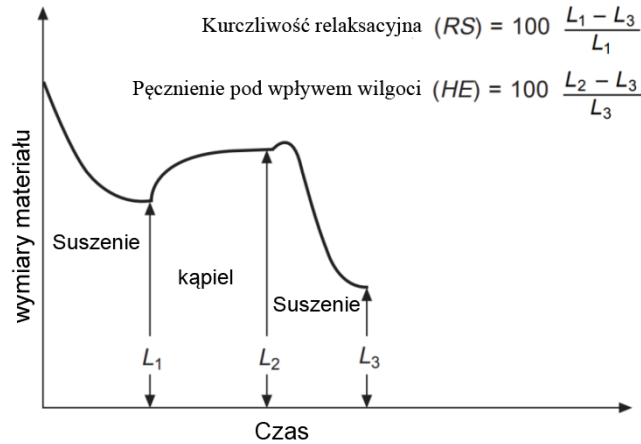
Małe wydłużenie tkaniny, powoduje trudności podczas procesu szycia szwów i problemy z układalnością oraz marszczenie szwów. Wysoka rozciągliwość prowadzi do rozciągania się tkaniny podczas układania, co powoduje kurczenie się wyciętych elementów form odzieżowych podczas procesu krojenia, gdy elementy są zdejmowane ze stołu krojczego.

Pomiary uzyskane z przyrządu FAST – 3 i FAST – 2 są wykorzystywane do obliczania dwóch wartości pochodnych, takich jak sztywność ścinania (postaciowa) i podatność na formowanie.

Test stabilności wymiarowej przy użyciu przyrządu FAST – 4

Zmiany wymiarów płaskich wyrobów włókienniczych określone są za pomocą metody FAST – 4. Zmiany wymiarów materiałów uzależnione są od zmiennych warunków środowiskowych.

Badanie przeprowadzone na FAST – 4 to modyfikacja konwencjonalnego testu mokro-suchego. Test na przyrządzie FAST- 4 może być wykonany w czasie do dwóch godzin i nie wymaga stosowania klimatyzowanej atmosfery. W teście wymagane jest, aby próbka była sucha, w celu zmierzenia jej wymiarów w stanie suchym L_1 . Następnie próbka jest zamoczona w wodzie w celu zmierzenia jej wymiarów w stanie mokrym L_2 . W dalszym ciągu próbka ponownie jest suszona, aby dokonać pomiaru jej końcowego wymiaru w stanie suchym L_3 . Próbkę mierzone są wzdłuż osnowy i wątku. Schemat procedury badawczej przedstawia Rysunek 5.



Rysunek 5. Schemat zasady pomiaru przyrządem FAST-4 (Hu, 2004)

Opisany powyżej test pozwala na wyznaczenie dwóch parametrów stabilności wymiarowej na dwa parametry (Równanie 4) i (Równanie 5) takich jak:

1. Kurczliwość relaksacyjna RS [%]

$$RS = 100 \frac{L_1 - L_3}{L_1} \quad (4)$$

2. Pęcznienie pod wpływem wilgoci HE

$$RS = 100 \frac{L_2 - L_3}{L_3} \quad (5)$$

gdzie:

L_1 – wymiar próbki w stanie suchym [mm],

L_2 – wymiar próbki w stanie mokrym [mm],

L_3 – wymiar próbki po jej ponownym suszeniu [mm].

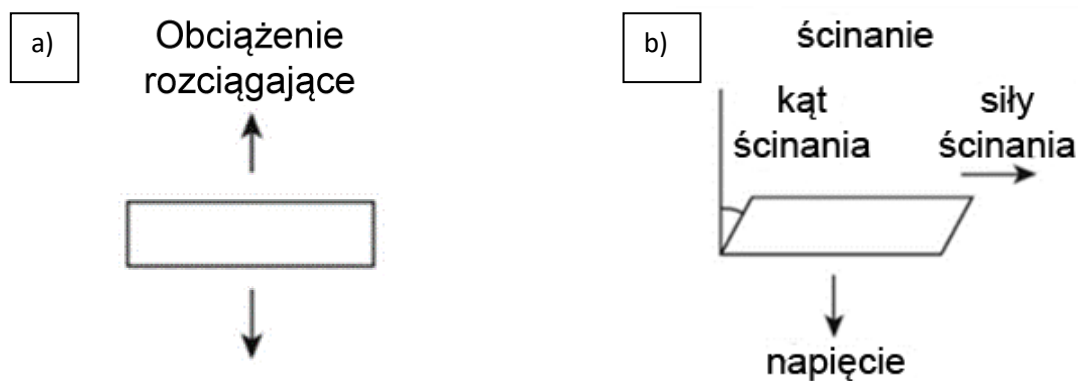
2.2.2 Wyznaczanie właściwości mechanicznych tkanin przy użyciu system KES-FB

System KES-FB – Kawabata Evaluation System for Fabric służy do pomiaru parametrów tkanin przy małych odkształceniach. KES-FB służy do określenia parametrów mechanicznych tkanin takich, jak parametry rozciągania i ściskania, zginania, ścinania i chropowatość powierzchni. System KES-FB składa się z czterech urządzeń: KES – FB1, KES – FB2, KES – FB3 i KES – FB4 (Kawabata, 1980).

System KES-FB jest szeroko stosowanym systemem do pomiaru właściwości mechanicznych tkanin, które mają na celu obiektywny pomiar mechanicznych właściwości płaskich wyrobów włókienniczych poddawanych działaniom małych naprężeń, czyli takich, jakie występują podczas użytkowania wyrobu odzieżowego (Kawabata, 1980).

Przyrząd do pomiaru rozciągania i ścinania tkaniny KES – FB1

Na przyrządzie KES – FB1 wykonuje się dwa testy, tj. test rozciągania i ścinania, jak przedstawia Rysunek 6.

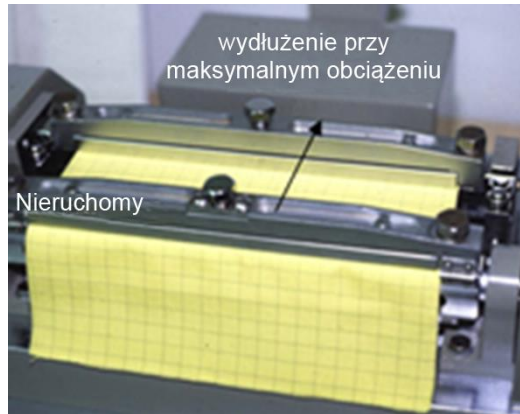


Rysunek 6. Uproszczony schemat pomiarów ścinania tkaniny przy użyciu przyrządu KES – FB1 a) test rozciągania , b) test ścinania (Bartkowiak, 2017)

Przyrząd do pomiaru rozciągania pozwala wyznaczyć następujące wartości:

- **EMT** – wydłużenie w % przy maksymalnej przyłożonej sile; wyższa wartość oznacza większą rozciągliwość.
- **LT** - liniowość krzywej rozciągania podczas obciążenia.
- **WT** - energia rozciągania na jednostkę powierzchni badanej próbki.
- **RT** – odprężność przy rozciąganiu.

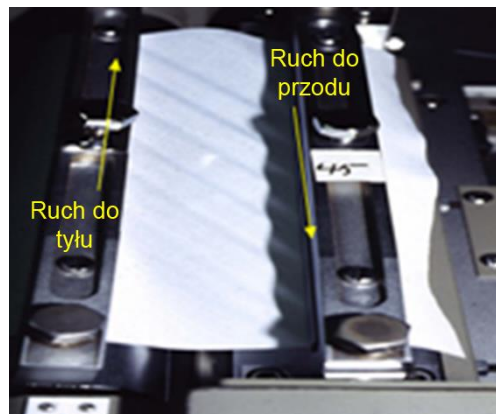
Rysunek 7 przedstawia przyrząd do pomiaru rozciągania tkaniny KES – FB1.



Rysunek 7. Pomiar rozciągłości na przyrządzie KES – FB1 (Wilson, 2023)

Przyrząd KES – FB1 do przeprowadzania testu ścinania umożliwia równoległe przyłożenie siły do tkaniny, aż do osiągnięcia maksymalnego kąta przesunięcia. Na próbkę przykładane jest naprężenie wstępne oraz wyznaczane są odpowiednio (Bartkowiak, 2017):

- **G** – Sztywność skręcania (N/m),
- **2HG** – Szerokość pętli histerezy przy ścinaniu, przy $\Phi = 0,5^\circ$ (N/m),
- **2HG5** – Szerokość pętli histerezy przy ścinaniu, przy $\Phi = 5^\circ$ (N/m)



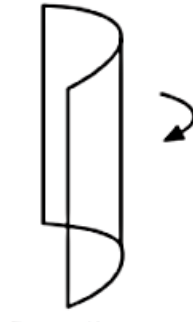
Rysunek 8. Pomiar ścinania na przyrządzie KES – FB1 (Wilson, 2023)

Podczas wykonywania testu ścinania ustawiane są wartości:

- Prędkość ścinania = 0,417 mm/s;
- Wielkość próbki (dł. × szer.) 5 × 20 cm;
- Maksymalny kąt ścinania ± 140 mrad;
- Stałe napięcie próbki 0,1 N/cm.

Przyrząd do wyznaczania sztywności zginania KES – FB2.

Przyrząd KES – FB2, mierzy kąt zginania, a zasadę działania tego pomiaru przedstawia Rysunek 9 oraz Rysunek 10.

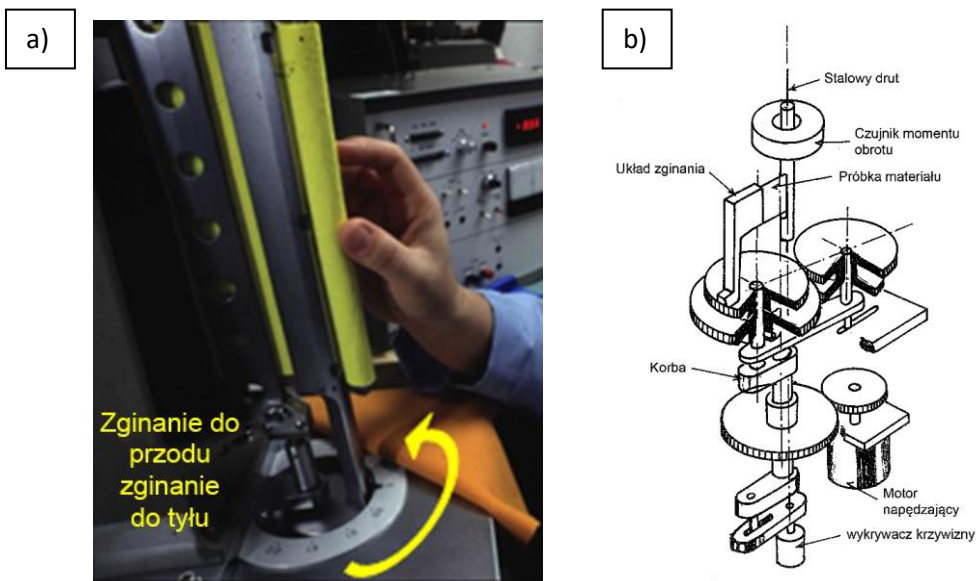


Rysunek 9. Uproszczony schemat pomiaru sztywności zginania (Bartkowiak, 2017)

Na urządzeniu tym próbka poddawana jest testowi czystego zginania, które występuje podczas wyginania jej wzdłuż łuku kreślonego promieniem krzywizny $R=1/K$, gdy krzywizna K zmienia się ze stałą prędkością $0,5 \text{ cm}^{-1} / \text{s}$ w przedziale krzywizny $K=2,5 \text{ cm}$ do $-2,5 \text{ cm}$.

W pomiarze zginania przyrząd oblicza:

- **B** – Sztywność zginania (Ncm^2/cm),
- **2HB** – szerokość pętli histerezy przy zginaniu (Ncm^2/cm).

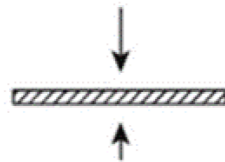


Rysunek 10. Przyrząd do pomiaru parametru zginania KES – FB2, a) widok przyrządu b) schemat przyrządu (Wilson, 2023)

Przyrząd do pomiaru współczynnika ściskania KES –FB3

Rysunek 11 przedstawia uproszczony schemat pomiaru współczynnika ściskania płaskiego wyrobu włókienniczego.

Siły ściskania

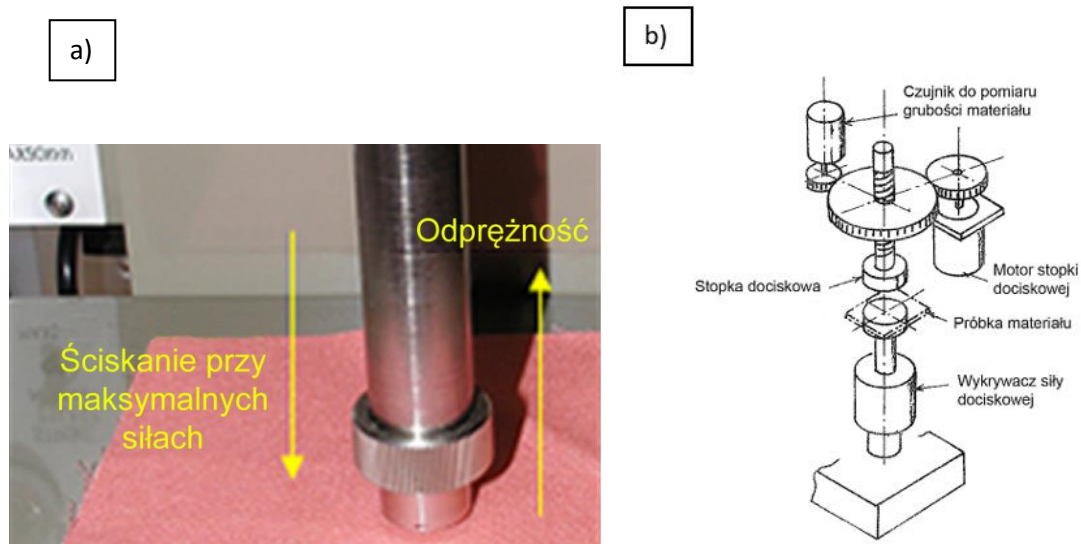


Rysunek 11. Uproszczony schemat pomiaru parametru ściskania (Bartkowiak, 2017)

Przyrząd do pomiaru ściskania określa:

- LC – Liniowość przy ściskaniu,
- WC – Energię potrzebną do ściskania (Ncm/cm^2),
- RC – Odprężność przy ściskaniu (%).

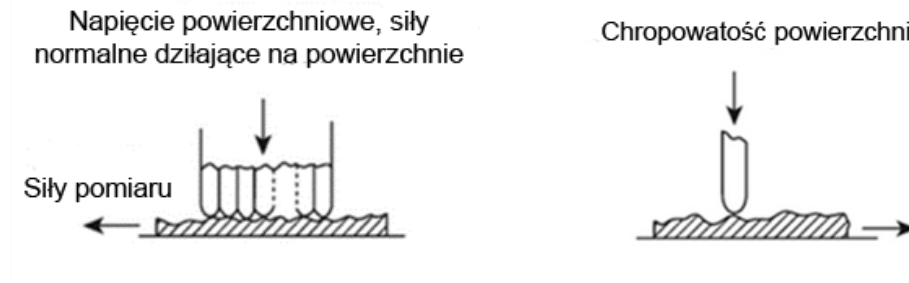
Rysunek 12 przedstawia przyrząd KES-FB3, który zapewnia pomiar naprężeń ściskających. Próbkę o wymiarach 2,5 x 2,0 cm ściskane są przez 2 okrągłe płaszczyzny o powierzchni 2 cm^2 . Prędkość przesuwu zacisku ściskającego wynosi 20 $\mu\text{m/s}$ i gdy ciśnienie osiągnie wartość 50 G/cm^2 następuje proces odwrotny z tą samą prędkością.



Rysunek 12. Przyrząd do pomiaru parametru ściskania KES – FB3 a) widok przyrządu, b) schemat przyrządu (Wilson, 2023)

Przyrząd do badań właściwości powierzchniowych KES – FB4

Rysunek 13 przedstawia uproszczony schemat badania tarcia i chropowatości powierzchni.

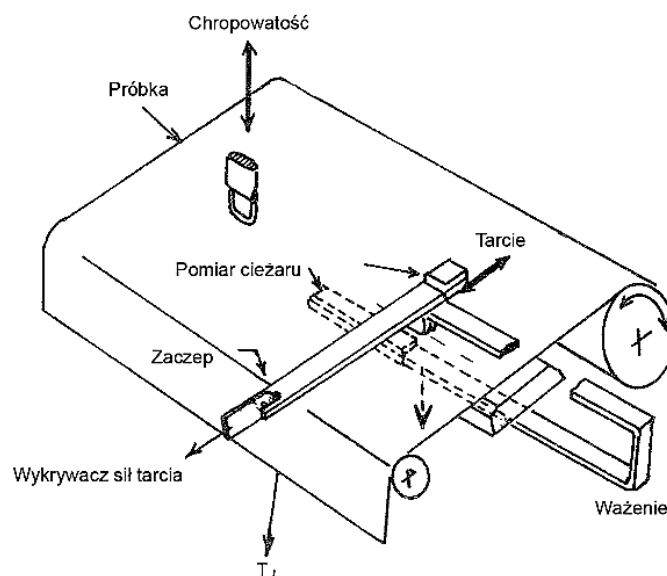


Rysunek 13. Uproszczony schemat pomiaru parametru badania właściwości powierzchniowych (Bartkowiak, 2017)

Na przyrządzie wyznacza się następujące parametry:

- **MIU** – średnia wartość współczynnika tarcia, od 0 do 1, przy czym wyższa wartość odpowiada większej sile tarcia [-],
- **MMD** – średnie odchylenie współczynnika tarcia [-],
- **SMD** – średnie odchylenie chropowatości powierzchni; wyższe wartości odpowiadają geometrycznie bardziej chropowatej powierzchni [-].

Rysunek 14 przedstawia schemat przyrządu do badania parametru chropowatości płaskich wyrobów włókienniczych i ich siły tarcia.



Rysunek 14. Schemat badania parametru chropowatości tkaniny i siły tarcia

Ze wszystkich powyższych parametrów, które są uzyskiwane z przyrządów KES – FB, można obliczyć całkowitą wartość chwytu THV (total hand value).

2.2.3 Podatność na formowanie

Badania przeprowadzone w Szwecji w Textile Research Institute (TEFO) w latach 1950-tych i 1960-tych, wykazały, że ściskanie, ścinanie, zginanie i rozciąganie są ważnymi właściwościami mechanicznymi, która są szczególnie ważne podczas procesu konfekcjonowania odzieży.

Lindberg w swoich badaniach poruszył problem deformacji płaskich wyrobów włókienniczych w zależności od czynników mechanicznych. Według Lindberga odzież składa się z kilku elementów form odzieżowych, które są połączone ze sobą szwami. Elementy te mogą być wykonane z tej samej tkaniny lub z różnych tkanin. Połączenie elementów tkaniny lub różnych tkanin może wywoływać wewnętrzne naprężenia w odzieży, które będą powodować deformację tych elementów i wpływać na ogólny wygląd odzieży, np. marszczenie szwu.

Lindberg powiązał tę właściwość z odkształcalnością tkaniny (Hayes, 2008). Jako pierwszy zastosował on teorię formowania tkanin w technologii odzieży. Zdefiniował on odkształcalność tkanin jako stopień podłużnego ściskania tkaniny w kierunku linii szwu. Współczynnik podatności na formowanie F_L wprowadzony przez Lindberga jest miarą stopnia ściskania, jaki tkanina może przyjąć przed wystąpieniem wyboczenia, gdy poddawana jest ona obciążeniu wzdłuż linii szwu (Giorgio, Fabric Assurance by Simple Testing, 1995). Jest on zależny od sztywności zginania tkaniny i jej odkształcalności podczas ściskania, co wyraża Równanie 6.

$$F_L = B * \varepsilon \quad (6)$$

gdzie: B jest sztywnością zginania tkaniny [μNm],
 ε jest odkształcalnością tkaniny podczas ściskania.

Ze względu na fakt, że trudno jest mierzyć odkształcalność tkaniny podczas ściskania, a znacznie łatwiej podczas rozciągania, przy założeniu, że procesy te zachodzą symetrycznie w układzie współrzędnych siła – wydłużenie, najczęściej współczynnik podatności na formowanie w [mm^2] wyznacza się z zależności opisanej przez Równanie 7:

$$F_L = \frac{B}{C} \quad (7)$$

gdzie:
B jest sztywnością zginania tkaniny [μNm],
C jest modułem początkowym przy rozciąganiu [N/m].

Dobrą podatność na formowanie osiąga się poprzez wymuszenie na dwuwymiarowej tkaninie przybrania prostego lub złożonego trójwymiarowego kształtu o dobrym ogólnym wyglądzie i bez zmarszczenia szwu (Behera, 2014).

Podatność na formowanie jest różnie definiowana przez różnych autorów. W latach 90tych ubiegłego stulecia, gdy powstał w CSIRO (Australia) system FAST, De Boos i Tester zaproponowali inną postać współczynnika podatności na formowanie. Według nich współczynnik podatności na formowanie F_{FAST} , podany w $[mm^2]$, to iloczyn sztywności zginania i różnicy rozciągliwości tkaniny przy dwóch obciążeniach, co wyraża Równanie 8 (Wang, 2003).

$$F_{FAST} = B * \frac{(E20 - E5)}{14.7} \quad (8)$$

gdzie:

B – sztywność zginania $[\mu Nm]$,

E20 – wydłużenie przy obciążeniu 20 cN/cm [%],

E5 – wydłużenie przy obciążeniu 5 cN/cm [%].

Odkształcenie ścinające (postaciowe) powoduje, że kąt pomiędzy nitkami osnowy i wątku jest zmieniany (z 90°) bez narzucania wydłużenia na którykolwiek z układów nitek. Sztywność ścinania tkaniny jest to miara siły, która jest wymagana do odkształcenia tkaniny przy ścinaniu. Moduł sztywności postaciowej obliczany na podstawie wyników z przyrządu FAST-3 pod obciążeniem 5 cN, który wyraża Równanie 9 w jednostkach $[N/m]$ (Wang, 2003).

$$G = \frac{123}{EB5} \quad (9)$$

gdzie:

G - moduł sztywności postaciowej G, czyli tangens kąta odkształcenia postaciowego,

EB5 – wydłużenie po skosie przy obciążeniu 5 G, [%].

Mała sztywność ścinania oznacza, że materiał łatwo ulega odkształceniu, natomiast wysoka sztywność ścinania materiału będzie powodować trudności podczas trójwymiarowego formowania odzieży np. w obszarze główki rękawa. Według definicji sztywność postaciowa jest miarą odporności nitek osnowy i wątku na ruch obrotowy w tkaninie w momencie poddawania jej odkształceniom ścinającym przy niskich naprężeniach tnących. Dla tkanin o bardzo niskiej sztywności ścinania mogą zaistnieć problemy podczas szycia związane z układaniem i cięciem, ze względu na niestabilność kształtu. W przypadku tkaniny o niskiej sztywności postaciowej może wystąpić konieczność szpilkowania podczas tworzenia nakładów tkaniny, aby ją w ten sposób ustabilizować.

Ważność modułu sztywności postaciowej G i jego wpływ na formowanie odzieży zauważyły także Naujokaitytė i Strazdienė (Naujokaityte i inni, 2007), które zaproponowały nowy model badania podatności na formowanie uwzględniając w nim parametry pomierzone na systemie do pomiarów mechanicznych właściwości tkanin KES–FB. Autorki zaproponowały współczynnik F_{KES} , który uwzględnia iloraz wydłużenia przy obciążeniu 490 N/m i liniowości krzywej rozciągania podczas obciążenia pomnożony przez sztywność zginania oraz iloraz sztywności postaciowej i histerezy podczas ścinania przy kącie 5° (Równanie 10).

$$F_{KES} = \frac{EMT}{490 LT} * B * \frac{G}{2HG5} \quad (10)$$

gdzie:

EMT – wydłużenie przy maksymalnej przyłożonej sile [%],

LT – liniowość krzywej rozciągania podczas obciążania [-],

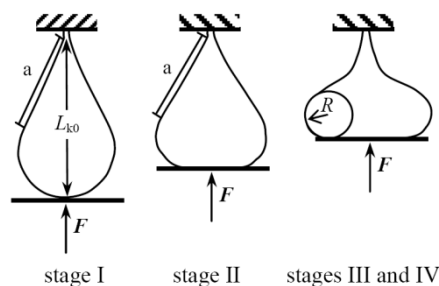
490 – wartość obciążenia [N/m],

B – sztywność zginania na jednostkę długości [Nm^2/m],

G – sztywność postaciowa [N/m],

2HG5 – histereza przy kącie 5° [N/m],

Ich badania miały na celu zbadanie zmiany kształtu pętli podczas ściskania, przy użyciu nowej przystawki zamontowanej przy urządzeniu do ściskania. Zmiany kształtu pętli zostały podzielone na cztery etapy, jak pokazuje Rysunek 15, na którym przedstawione zostały kształty pętli w każdym etapie.



Rysunek 15. Pętla podczas procesu ściskania (Naujokaityte i inni, 2007)

Według Ghazimoradi podatność na formowanie tkaniny jest to jej zdolność do pokrycia powierzchni o różnych krzywiznach (trójwymiarowej) bez powstawania zmarszczek czy fałd (Ghazimoradi, 2014). Badanie podatności na formowanie ma duże znaczenie podczas symulacji odzieży w systemach CAD poprzez wprowadzenie wartości parametrów mechanicznych płaskich wyrobów włókienniczych. Wg niego w celu wyznaczenia

współczynnika podatności na formowanie można zastosować wyniki pomiarów otrzymane na przyrządach do rozciągania i zginania, które wchodzą w skład systemów KES-FB i FAST (Ghazimoradi, 2014).

Podatność na formowanie może być zmienną wartością, zwiększenie sztywności zginania, lub wydłużenia, jak również zmiana obu tych wartości może powodować zmianę podatności na formowanie. Ze względu na fakt, iż sztywność zginania jest bardzo ważnym czynnikiem charakteryzującym chwyt tkaniny, każda próba zmiany tej właściwości powoduje zmianę w chwycie tkaniny. Najbardziej akceptowalnym sposobem zwiększenia formowalności płaskich wyrobów włókienniczych jest zwiększenie współczynnika rozciągliwości tkanin, np. poprzez odpowiednie wykończenie.

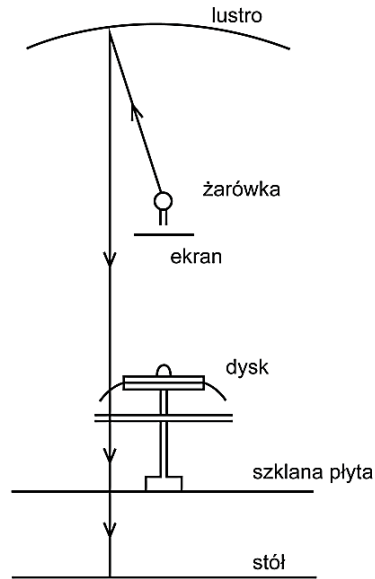
Udowodniono, że niska podatność na formowanie powoduje wybaczenie szwów, ponieważ tkanina nie jest w stanie przyjąć niewielkiego nacisku wywieranego na nią przez nią szyjącą (Das, 2017). Stwierdzono, że tkaniny z mieszanek włókien, tj.: wełna z poliestrem charakteryzują się niską podatnością na formowanie. Splot tkanin również ma znaczący wpływ na podatność na formowanie. I tak np. tkanina o splocie skośnym wykazała wyższą podatność na formowanie niż tkaniny o splocie płóciennym z powodu większej rozciągliwości i większej sztywności zginania (Wang, 2003).

2.3 Układalność tkaniny i metody jej pomiaru

Cusick w 1965 po raz pierwszy dokonał rozróżnienia między wizualnym wyglądem tkaniny a mechanicznymi interakcjami w obrębie tkaniny określając to jako „układalność tkaniny”. Układalność można określić jako opis deformacji tkaniny wywołanej grawitacją, podczas jej zwisu.

Ocena jakościowa ułożenia tkaniny rozpoczęła się wraz z opracowaniem mierników służących do pomiaru układalności tkaniny.

Cusick w 1962, 1965 rozwinął trójwymiarowy pomiar na przykładzie zasłon. Urządzenie jest zbudowane na stole, gdzie jest umieszczony dysk podtrzymujący próbkę na szklanej płycie. Cień jest rzucany na stół przez światło odbite od żarówki przez sferyczne lustro. Pod żarówką umieszczono ekran, aby uniknąć światła na próbce. Rzutowany na stół kształt odrysowywano na papierze, pole powierzchni rzutu próbki mierzono planimetrem. Zasadę pomiaru, ilustruje Rysunek 16.



Rysunek 16. Schemat miernika do układalności tkaniny według Cusick'a (Kuijpers, 2017)

Cusick podczas badań udowodnił, że umieszczenie próbki tkaniny o średnicy 30 cm na krążku podporowym o średnicy 18 cm jest odpowiednie dla większości z nich. Wiotkie tkaniny tworzyły fałdy pod podporą, podczas gdy sztywny materiał nie tworzył żadnych fałd. Do pomiaru wiotkich tkanin o współczynniku układalności poniżej 30% Cusick w 1968 zalecił próbkę o średnicy 24 cm, a dla sztywnych tkanin o współczynniku układalności powyżej 85% - próbkę o średnicy 36 cm.

Cusick stwierdził, że współczynnik układalności jest to procent deformacji tkaniny w luźnej zwisającej części tkaniny. Materiał sztywny będzie miał większą, a wiotki materiał mniejszą odporność na odkształcenia, co wskazuje na sztywność lub wiotkość materiału. Cusick zbadał w swoich badaniach związek między właściwościami mechanicznymi tkaniny a układalnością tkaniny.

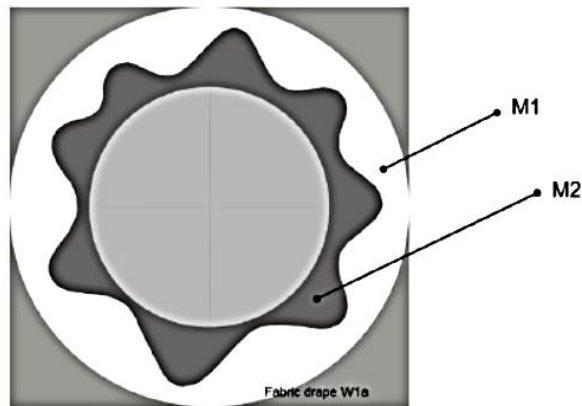
Współczynnik układalności jest obliczany metodą cięcia i ważenia (Rysunek 17). Na wieczku umieszczany jest papierowy pierścień o tej samej średnicy co próbka tkaniny. W pierwszym etapie, śledzony jest cień tkaniny. Następnie waży się papierowy pierścień. Kolejnym etapem jest wycięcie cienia, następnie ważenie papieru z uzyskanego cienia. Stąd współczynnik układalności wyraża Równanie 11:

$$DC = \frac{M_1}{M_2} 100\% \quad (11)$$

gdzie:

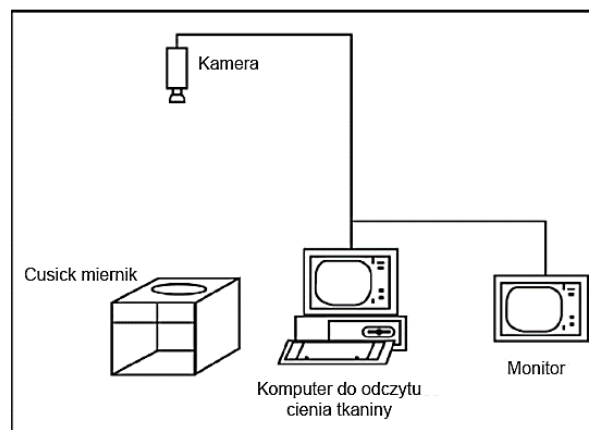
M_1 – obszar papierowego pierścienia [mm],

M₂ – obszar zwisającej tkaniny [mm],



Rysunek 17. Biały obszar M1 to papierowy pierścień i M2 kontur zwisającej tkaniny, jasno szary okrąg to dysk podporowy (Kuijpers, 2017)

Obecnie metoda Cusick'a jest często zastępowana dokładniejszymi i szybszymi metodami analizy obrazu. Zasada testowania jest taka sama. W 1993 roku Vangheluwe i Kiekens stworzyli miernik Cusick'a z kamerą CCD zamontowaną nad miernikiem do pomiaru układalności. Zestaw pomiarowy obejmujący miernik Cusick'a, komputer z funkcją przechwytywania obrazu i monitorem, przedstawia Rysunek 18.



Rysunek 18. Schemat pomiaru układalności tkaniny metoda Vangheluwa i Kiekensa (Kuijpers, 2017)

Urządzenie Vangheluwe i Kiekensa do pomiaru układalności tkaniny charakteryzuje się znacznie skróconym czasem i wyższą dokładnością pomiaru.

Jeong w 1998 działał na tej samej zasadzie, jednak autor obliczył współczynnik układalności (Równanie 12) na podstawie doboru granic. Jeong stwierdził, że metoda granic jest bardziej niezawodna w porównaniu z metodą liczenia pikseli. Na obrazie

kwadratu Jeong wykazał, że oryginalna liczba 48 pikseli zwiększa się o 41%, jeśli obraz jest obrócony o 45 stopni i oblicza współczynnik układalności (Jeong w 1998 działał na tej samej zasadzie, jednak autor obliczył współczynnik układalności (Równanie 12) (Kuipers, 2017):

$$DC = \left[\frac{A_d}{A_2} - \frac{A_1}{A_1} \right] * 100\% \quad (12)$$

A_d - reprezentuje pole powierzchni cienia próbki [-],

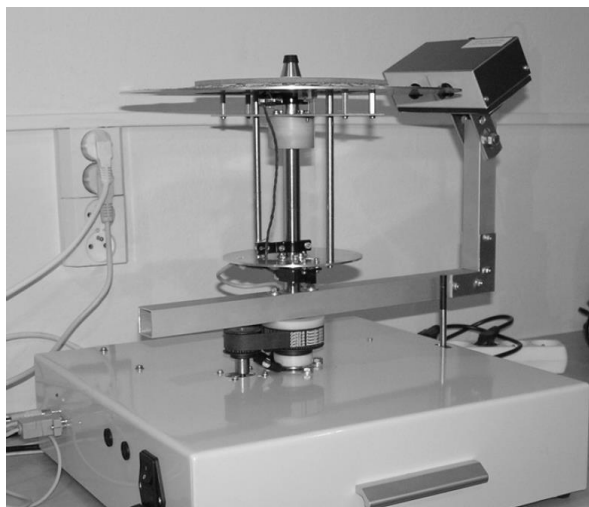
A_1 - reprezentuje pole powierzchni krążka podtrzymującego [-],

A_2 - reprezentuje pole powierzchni oryginalnej, wyciętej próbki tkaniny [-].

3D Drape Scanner, jest to połączenie klasycznego drapometru, z zasadą trójkątnego skanowania w celu uchwycenia prawdziwego obrazu w postaci 3D. Obraz 3D ułożenia tkaniny uzyskuje się poprzez zeskanowanie zwisającej tkaniny na obracającej się głowicy skanującej wokół badanej próbki.

Skaner jest zbudowany z głowicy skanującej, która składa się z dwóch kamer CCD i lasera liniowego. Na badanej próbce są śledzone cienie światła laserowego, które wykorzystywane są do automatycznego obliczania obrazu 3D i jego wyświetlenia za pomocą specjalnego oprogramowania 3D skanera. Pomiar układalności tkaniny przy użyciu 3D Drape Scanner trwa około 1 minuty.

Rysunek 19 przedstawia skaner 3D Drape, który jest sterowany (tj. ruch głowicy skanującej, ruch dysku, uruchamianie i zatrzymywanie pomiaru itp.) poprzez oprogramowanie. Skaner 3D posiada również dodatkowe możliwości takie, jak automatyczne obliczenie parametrów tj. układalność, liczba fałd, pole powierzchni i obwód, informacje o ich położeniu (kąt i głębokość, długość fałd itp.), oraz umożliwia pokrycie zeskanowanej powierzchni teksturą rzeczywistej zeskanowanej tkaniny.



Rysunek 19. 3D Draper Scanner do pomiaru układalności (Glombikova, 2014)

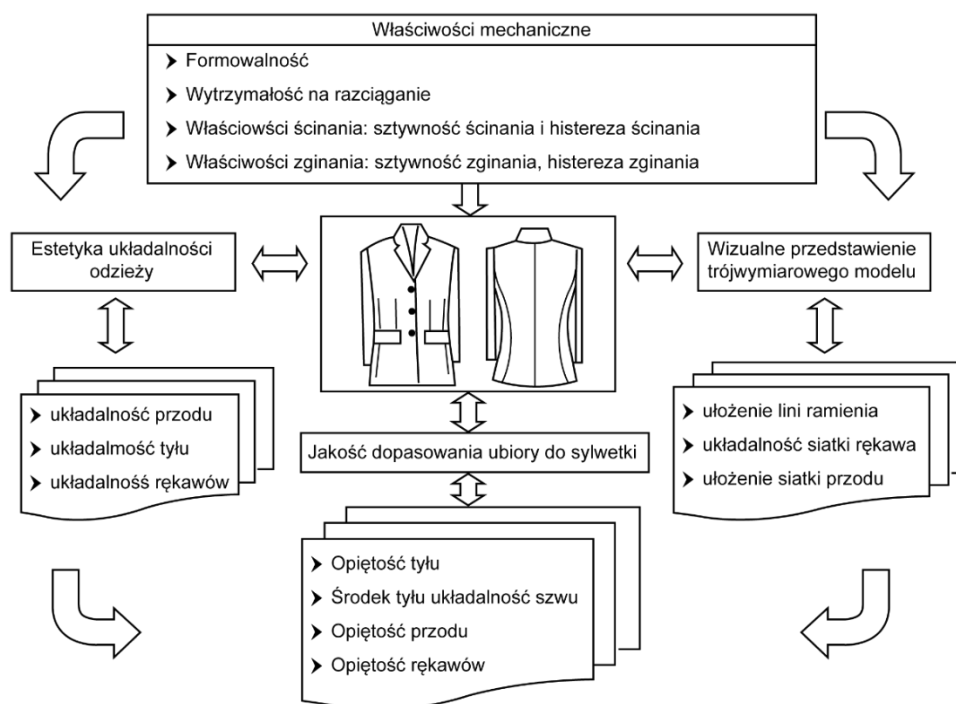
Główne zalety skanera 3D do pomiaru układalności tkaniny to:

1. Wyświetlanie prawdziwego trójwymiarowego obrazu drapowanej tkaniny.
2. Możliwość pokrycia badanej próbki teksturą.
3. Automatyczny pomiar i wysoka dokładność współczynnika DC [%], pomiar liczby fałd, kątów, głębokości, itp.) (Glombikova, 2014).

2.4 Znaczenie stopnia dopasowania odzieży

Stopień dopasowania odzieży do sylwetki ma kluczowe znaczenie dla zadowolenia klienta, ponieważ przyczynia się zarówno do pewności siebie, jak i do odczuwania komfortu przez użytkownika (Wren, 2010). Definicja stopnia dopasowania odzieży, nie jest jednoznacznie podana. Jest to zmienna zależna od czasu, mody, kultury, otoczenia i indywidualnego pojęcia o pasowalności danej odzieży do sylwetki.

Definicja pasowalności odzieży, którą przedstawił Cain (Yu, 2004) jest ściśle powiązana z anatomią człowieka, czyli wszystkimi jego wypukłościami. Erwin and Kinchen (Yu, 2004) stwierdził, że pasowalność zależy od pięciu zmiennych. Są to luzy występujące w odzieży, linie jakimi określane są formy odzieżowe, ułożenie form odzieżowych na materiale, balans przodu i tyłu w odzieży oraz ułożenie odzieży na danej sylwetce. Chamber and Wiley (Yu, 2004) zdefiniowali dobre dopasowanie odzieży, jako układalność odzieży na sylwetce bez żadnych zagnieceń, z odpowiednim dopasowaniem luzów odzieżowych, również odzieży z odpowiednio ułożonymi szwami i dobrze dopasowanymi zaszewkami. Rysunek 20 przedstawia kryteria pasowalności odzieży do sylwetki człowieka. Gersak (Yu, 2004) przedstawiła kilka elementów, które mogą wpłynąć na stopień dopasowania odzieży w znacznym stopniu związane z mechanicznymi właściwościami tkanin. Mechaniczne właściwości tkanin wpływają na sposób, w jaki tkanina układa się na ciele i również informacje te są wykorzystywane w systemach CAD/CAM.



Rysunek 20. Kryteria do oceny poprawności dopasowania odzieży do sylwetki człowieka (Yu, 2004)

LaBat i DeLong (Yu, 2004) wprowadzili pojęcie społecznie rozumianej idealnej sylwetki i modelowej sylwetki, na którą szyta jest odzież. W przemyśle odzieżowym odzież produkowana jest na sylwetkę, idealną uśrednioną i ostatecznie perfekcyjną, co nie zawsze pokrywa się z sylwetkami spotykanymi w społeczeństwie definiowanymi, jako sylwetka naturalna. Dodatkowo rozróżnić można idealny wygląd odzieży i realny wygląd odzieży na danej sylwetce, na podstawie kryteriów, które wyszczególnia Rysunek 20 (Yu, 2004). Kolejnym czynnikiem dobrego stopnia dopasowania odzieży, jest jego przeznaczenie. Przeznaczenie odzieży określa nam luzy odzieżowe. Luz odzieżowy musi być również odpowiednio dobrany do materiału, z którego jest wykonana dana odzież. Odzież zaprojektowana i uszyta z tkanin lub dzianin rozciągliwych, których zadaniem jest nadanie pewnego przylegania do ciała, odbierana jest jako komfortowa. W przeciwnym wypadku mamy uczucie dyskomfortu lub poczucie, zbyt dużego ucisku. Luzy odzieżowe są także zależne od mody i funkcjonalności odzieży, mogą się zmieniać w zależności od upodobań projektanta i jego wizji danej odzieży (Choudhury, 2011). W "Konstrukcji odzieży" Parafianowicza luzy odzieżowe są ściśle określone, jakkolwiek luzy odzieżowe można zmieniać wedle panującej mody.

2.5 Luzy odzieżowe przy różnych typach odzieży

Luz odzieżowy to różnica między wymiarami ciała, a wymiarami gotowego ubrania. Wyróżnia się dwa rodzaje luzów odzieżowych:

1. Luz technologiczny, który umożliwia ruch i wygodę, jest podyktowany przez technologów odzieżowych.
2. Luz projektowy, który jest narzucony przez projektanta, aby uzyskać daną wizję odzieży przez projektanta. Luz projektowy jest dodawany do luzu technologicznego, tworząc luz odzieżowy.

Luzy odzieżowe zależą od projektanta, a także od technologa, który wykonuje formy danej odzieży. Wyróżniamy trzy typy luzów.

- **Typ: luz równy 0 cm**

0 cm lub negatywny jest zwykle zarezerwowany dla tkanin rozciągliwych lub dzianinowych. Można go jednak stosować do bardzo dopasowanej odzieży typu tkanina z dodatkiem włókien elastomerowych.

- **Typ: luz równy 4 cm**

Luz równy 4 cm można zaliczyć do podstawowej minimalnej wielkości w odzieży rekomendowanej dla sylwetek normalnych. Luz ten pozwala wygodnie oddychać i poruszać się, zapewniając jednocześnie „dopasowany” wygląd odzieży. Różnica 4 cm rekomendowana jest w obwodzie klatki piersiowej, tali i „niskich” bioder.

- **Typ: luz równy 9 cm i więcej**

Luz równy 9 cm i powyżej umożliwia nam dopasowanie odzieży o zwiększonej swobodzie ruchów. Tym samym linia odzieży sprawia wrażenie „zbyt dużej” i bardziej obszernej w wyglądzie odzieży jednowarstwowej. Odzież, gdzie wyróżniamy okrycie wierzchnie, jak kurtki i płaszcze, przeznaczone do noszenia na innych elementach garderoby, wymagają większych wartości luzów (Truman, 2019).

Rysunek 21 przedstawia odszytą bluzkę z trzema typami luzów, gdzie bluzka:

A – posiada wysoki stopień dopasowania,

B – posiada średni stopień dopasowania,

C – posiada mały stopień dopasowania – bluzka luźna.



Rysunek 21. Przykłady luzów odzieżowych A, B, C bluzki na sylwetce kobiecej (Truman, 2019)

Luz odzieżowy jest jednocześnie estetycznym współczynnikiem, a także tym, który odpowiada za komfort odzieży. Wartość luzu jest dobierana, w zależności, od:

- a) typu odzieży,
- b) przeznaczenia odzieży i rodzaju materiału, z którego dana odzież jest wytworzona.

Luźne dopasowanie odzieży pozwala na swobodne poruszanie się. Wielkości luzów odzieżowych są zróżnicowane i zależą od lokalizacji na ciele np. na obwodzie klatki piersiowej, talii lub bioder są podobnej wielkości. Luzy dla górnych kończyn, uda, czy pachy będą dużo mniejsze. Wielkości luzów odzieżowych są zdefiniowane w normie ISO/TR 10652 (ISO, 1991).

Luz odzieżowy w obwodzie klatki piersiowej winien standardowo wynosić 4 cm. Jeśli jest to odzież bardzo dopasowana do sylwetki, to luz wynosi poniżej 4 cm. Dla przekroju poprzecznego talii reguła jest inna, ponieważ talia jest punktem zaczepienia ubrania i luz może być mniejszy niż 4 cm. Do przekroju poprzecznego talii spódnicy i spodni często dodaje się tylko 1 cm. Odzież jest wówczas dość dopasowana, co pomaga we właściwej układalności odzieży na ciele. W przypadku sukienek zwykle zapewniają one nieco większą wygodę, wartość luzu może minimalnie osiągać 2,5 cm. W okolicach przekroju poprzecznego bioder wartość luzu może być większa niż w talii, ze względu na konieczność zapewnienia większej swobody ruchu, aby móc wygodnie siedzieć. Zwykle jest to minimum 4 cm w odzieży z nierozciągliwej tkaniny. W kończynach górnych (obwód bicepsa) minimalny luz to 2,5 cm. W kończynach dolnych (obwód uda) luz jest podobny, jak w kończynach górnych, czyli około 2,5 cm.

2.6 Komfort użytkowy odzieży – definicja i znaczenie

Odzież może być produkowana dla osób indywidualnych, jak i na skalę masową. Produkcja odzieży dla osób indywidualnych, pozwala na poznanie klienta, określenie wymiarów ciała danego klienta i stworzenie indywidualnego projektu odzieży, który tym samym może zadowolić indywidualne potrzeby klienta. Odzież produkowana przez przemysł odzieżowy dla dużej grupy ludności, jest bardziej skomplikowana w realizacji. Wyróżniane są tu grupy rozmiarowe, natomiast nie ma tworzonej odzieży przemysłowej na postawie typu sylwetek takich jak jabłko, klepsydra czy gruszka. Produkcja odzieży uwzględniająca różne typy podziałów grup stwarzałaby ogromne koszty dla firm i byłaby nieopłacalna. Przyjęto więc normy, według których produkuje się odzież: rozmiary odzieżowe i standaryzację luzów odzieżowych. Projekt odzieży powinien również uwzględniać pojęcie komfortu odzieżowego i dopasowania odzieży, aby poprawnie określić, jak właściwie dopasować odzież do danej sylwetki.

Komfort jest złożonym pojęciem, na które wpływają właściwości fizjologiczne, psychiczne i warunki środowiska otaczającego osobę noszącą ubranie (Kiline-Balci, 2011).

DuBois i Burton (Fourt, 1969) stwierdzili, że fizjologiczny komfort człowieka zależy od równowagi pomiędzy produkcją energii, a wymianą energii ze środowiskiem. Bilans ten musi być utrzymywany w równowadze. Utrzymanie bilansu w równowadze między ciałem a środowiskiem jest modyfikowane przez interakcję odzieży, która z jednej strony jest częścią środowiska, a z drugiej – rozpatrywana jest jako część samego ciała. W zależności od rodzaju klimatu (zimny, umiarkowany lub ciepły), bilans cieplny zależy od noszonej odzieży. Odzież jest dobierana i dopasowywana świadomie tak, aby zapewnić komfort lub przynajmniej ochronę przed najbardziej niekorzystnymi warunkami środowiskowymi. Oprócz interakcji odzieży z ciałem, najważniejsza jest funkcja ochronna odzieży np. przed promieniowaniem, wiatrem, deszczem, jak również przed ekstremalnymi warunkami takimi, jak ogień, ciepło.

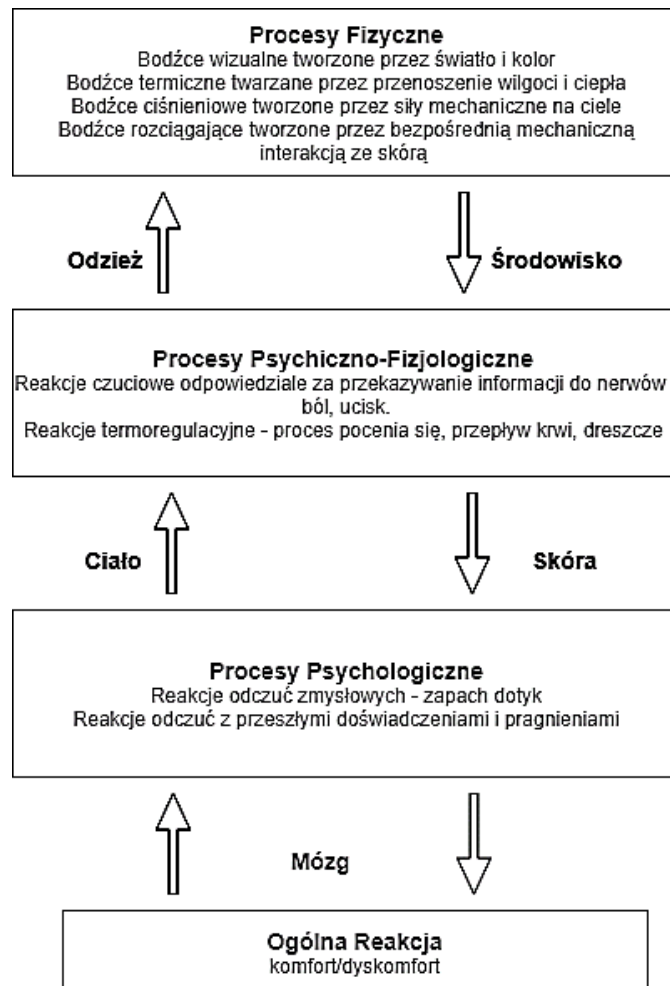
Dążenie do uzyskania wysokiego stopnia komfortu fizjologicznego w odzieżownictwie wiąże się z poszukiwaniem nowych, coraz to lepszych włókien, a tym samym materiałów i odzieży. Czynnikiem, który odpowiada za komfort noszenia odzieży, jest rodzaj materiału. Dla użytkownika nie jest aż tak ważne, aby odzież była modna i ładna, ale przede wszystkim, aby użytkownik czuł się wygodnie.

Komfort użytkowy odzieży w produkcji masowej ma istotne znaczenie, gdyż klienci chcą się czuć wygodnie w danym ubraniu. Poprawa komfortu, ma coraz większe znaczenie również dla technologów odzieżowych. Produkowanie „komfortowej odzieży” jest bardzo utrudnione, ponieważ odczucie komfortu jest subiektywne i może być podzielone na kilka stopni. Stworzenie skali komfortu, dla każdego typu odzieży produkowane na masową skalę jest bardzo utrudnione, ponieważ pojęcie komfortu to złożony problem.

Pontrelli w 1977, wprowadził nowe pojęcie komfortu. Według niego trzy zmienne wpływają na stan komfortu użytkownika, tj.:

1. Zmienne fizyczne związane ze środowiskiem i odzieżą,
2. Psychiczno-fizjologiczne parametry użytkownika,
3. Psychologiczne zrozumienie komfortu przez mózg.

Rysunek 22 przedstawia proces, odczytywania komfortu przez nasze organy (Watkins, 2011).



Rysunek 22. Subiektywne odczucie komfortu (Watkins, 2011)

W procesie fizjologicznym wysyłane są sygnały lub bodźce do sensora narządów ciała ludzkiego, które są odbierane i przetwarzane, jako impuls neuropsychologiczny. Impuls jest wysyłany do mózgu, a następnie podejmowane są działania w celu dostosowania przepływu krwi, pocenia się lub uczucia ciepła wytwarzanego przez drżenie. Mózg przetwarza sygnały czuciowe, w celu sformułowania subiektywnego postrzegania różnych indywidualnych odczuć, a następnie ocenia je i porównuje z przeszłymi doświadczeniami oraz pragnieniami, na które wpływ ma wiele czynników takich, jak fizyczne procesy środowiskowe, społeczne, otoczenie i styl życia.

Bornais w 1997 zasugerował, że dotyk termo-psychologiczny i bodźce psychologiczne wpływają na stopień komfortu człowieka ubranego. Mierzenie komfortu jest niemożliwe ze względu na brak przyrządów, które pozwoliłyby określić dokładny stan komfortu ciała ludzkiego, czyli metabolizm ciała (Watkins, 2011).

Komfort użytkownika odzieży można podzielić na cztery aspekty:

\

1. Komfort termiczny/fizjologiczny – osiągnięcie stanu termicznego i wilgotnościowego, związanego z przenoszeniem ciepła i wilgoci przez tkaninę,
2. Komfort sensoryczny – wywołanie silnych doznań, w trakcie kontaktu tkaniny ze skórą,
3. Komfort ergonomiczny dopasowania (luzów odzieżowych) – zdolność tekstyliów pozwalająca na swobodę ruchów, zmniejsza obciążenie i modeluje sylwetkę zgodnie z wymaganiami np.: mody.
4. Komfort estetyczny (psychologiczny) – czyli jest to zadowolenie psychologiczne z noszonej odzieży.

W celu połączenia wszystkich tych aspektów trudno jest znaleźć odpowiednią skalę dla odzieży, gdyż każda osoba odczuwa powyższe aspekty indywidualnie. Zatem sformułowanie definicji komfortu dla każdej jednostki jest bardzo trudne (Watkins, 2011).

2.6.1 Czynniki wpływające na komfort psychologiczny

Upodobania odzieżowe zmieniają się wraz z rozwojem technologii włókienniczych. Jest to ściśle połączone z zaawansowanymi technologiami, nowymi włóknami, przędzami, tkaninami, zastosowanymi wykończeniami, trendami mody i wpływami społecznymi. Komfort lub poczucie wygody to stan fizyczny lub psychologiczny, który pozwala odczuć zadowolenie i ma wpływ na pozytywne samopoczucie. Pewien komfort psychologiczny, można osiągnąć odtwarzając doświadczenia, które kojarzą się z przyjemnością.

Komfort psychologiczny to hedonistyczny proces osądzania, dzięki któremu mózg tworzy subiektywną percepcję wrażeń zmysłowych, na którą wpływa wiele czynników.

Liu i Little (Liu, 2009), wskazali na niektóre czynniki zakłócające percepcję komfortu psychologicznego, czyli „stan ducha użytkownika, procesy poznawcze i emocjonalne, środowisko, otoczenie kulturowe i społeczne, a także bodźce fizyczne”.

Natomiast Hunter i Fan (Hunter, 2015), opowiadają się za tym, że komfort psychologiczny występuje, gdy ktoś jest pewny swojego wyglądu i dzięki temu ma dobre samopoczucie.

Dla Kilinc-Balci (Kilinc-Balci, 2011), czynniki psychologiczne mają kluczowe znaczenie dla postrzegania komfortu i pozwalają badać zachowania konsumentów. Czynniki takie jak cena, marka, stan psychologiczny osoby noszącej daną odzież, elementy kulturowe i społeczne, w tym przeszłe doświadczenia, zostały zasygnalizowane jako: elementy komfortu psychologicznego.

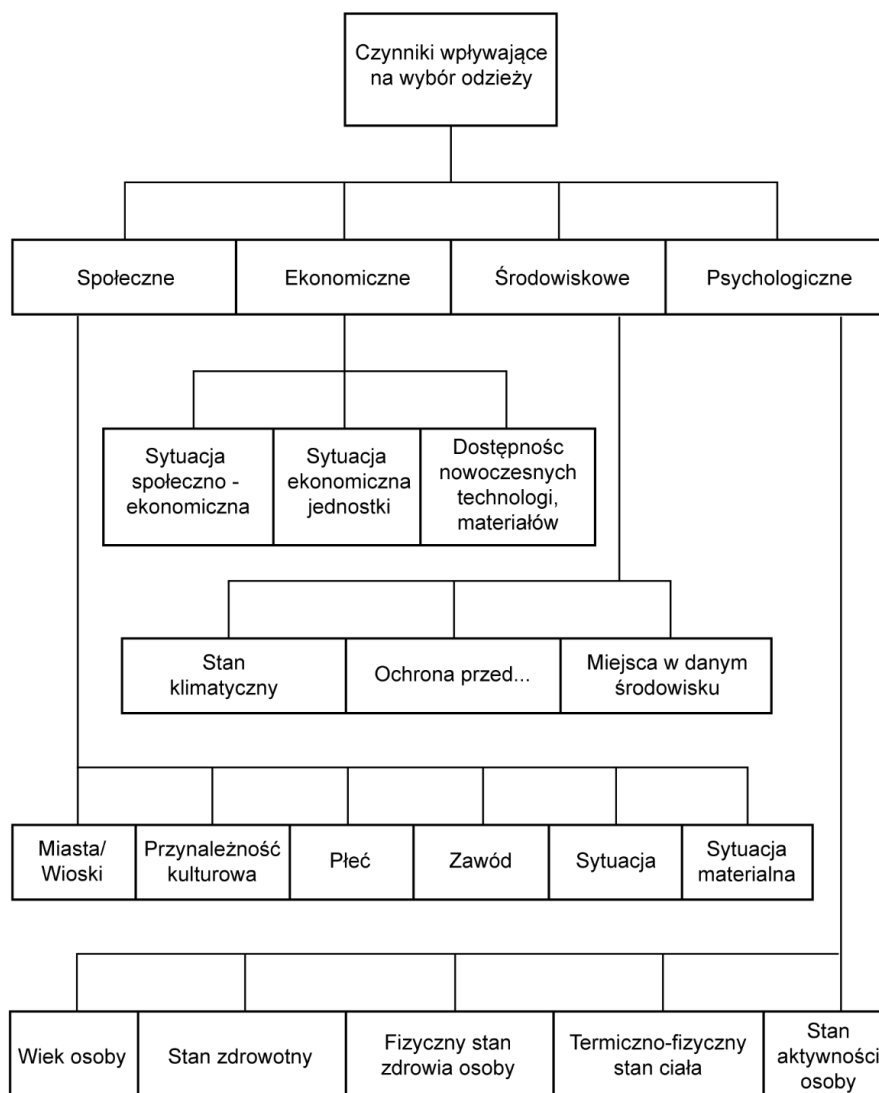
W przeciwieństwie do poprzednich autorów, Sontag (Stontag, 1985) proponuje rozróżnienie między czynnikami psychologicznymi i społecznymi. Sontag określa komfort noszenia odzieży za „stan zadowolenia wskazujący na równowagę fizjologiczną, społeczno-psychologiczną i fizyczną”, w otoczeniu w jakim znajduje się człowiek. Definicja przedstawiona przez autora obejmuje definicję komfortu termicznego ASRAE, która charakteryzuje komfort jako „zadowolenie, stan umysłu wskazując na równowagę i harmonię „między osobą a otoczeniem”.

Według Bransona i Sweeneya (Branson, 1991) nie ma danych empirycznych potwierdzających wyraźne rozróżnienie między psychologicznym a społecznym pojęciem komfortu (Lavanya, 2020), (Matté, 2017).

Komfort noszenia odzieży rozumiany, jest jako wygodna odzież dla użytkownika, w danym stanie fizjologicznym i przy akceptacji stanu psychicznego. Ze względu na to, że istnieją duże różnice pod względem satysfakcji fizjologicznej i psychicznej człowieka, gdyż każda osoba odczuwa w inny sposób zadowolenie, trudno jest znaleźć optymalną skalę komfortu dla każdego w danej przestrzeni.

Podstawową i powszechną potrzebą przy projektowaniu odzieży jest zaprojektowanie wygodnej, a tym samym modnej odzieży. Konsument przy zakupie odzieży kierują się komfortem odzieży, modą i jakością materiału. Bardzo ważna jest odzież, która określona jest jako codzienna, aby uzyskać maksymalny komfort fizjologiczny i psychiczny, a także zapewnić odpowiednie warunki fizyczne wokół naszego ciała w trakcie wykonywania różnych czynności fizycznych. Z punktu widzenia producentów odzieży i producentów tekstyliów, komfort noszenia odzieży ma za zadanie zaspokoić potrzeby i pragnienia konsumentów, w celu uzyskania trwałych przewag konkurencyjnych na nowoczesnych rynkach konsumenckich. Konsument zawsze oczekuje od kupowanej odzieży dodatkowych walorów użytkowych i unowocześnienia produktu np. zastosowanie nowoczesnych materiałów. W zależności od potrzeby i oczekiwań konsumentów, jak i producentów odzieży, tekstylia zapewniają szeroki wachlarz możliwości zwiększania komfortu człowieka. Na przykład, odzież wykonana z mieszanek lub włókien naturalnych jest bardziej preferowana od odzieży wyprodukowanej z włókien syntetycznych ze względu na cechy fizyczne. Aby zrozumieć podstawy komfortu użytkowego odzieży, opracowano narzędzia sensoryczne, a także sprzęt do oceny właściwości materiałów tekstylnych związanych z wygodą. Opracowano wiele urządzeń w dziedzinie tekstyliów i odzieży, takich jak systemy mechaniczne, termiczne, czy też przyrządy do badania powierzchni tekstyliów, aby ocenić powiązania właściwości fizycznych z rzeczywistym odczuciem fizjologicznym człowieka. Konsument wymaga, aby odzież noszona przez nich była funkcjonalna, dobrze wyglądała, odznaczała się wysokim poziomem pasowalności na sylwetce, dającej wysoki komfort psychologiczny. Konsument przy zakupie odzieży kierują się zmysłami takimi, jak: dotyk, zapach, intuicja czy emocje, które mogą wpływać na ich decyzje dotyczące wyboru odzieży, w stopniu większym niż zmysły estetyczne. Prawdą jest również, że wymagania konsumentów dotyczące komfortu zmieniają się wraz z produktami i sytuacjami. Oczywiście, zrozumienie i zaspokojenie potrzeb konsumentów w zakresie produktów odzieżowych ma kluczowe znaczenie dla

długoterminowego przetrwania oraz wzrostu popytu na odzież i tekstylia. Z tego wynika, iż czynniki wpływające na dobór odzieży, można podzielić na cztery główne grupy, tj. czynnik społeczny, czynnik ekonomiczny, czynnik środowiskowy i czynnik fizyczny. Wszystkie te czynniki odgrywają znaczącą rolę w doborze odzieży dla danej osoby. Poniżej Rysunek 23 przedstawia podział czynników wpływających na wybór odzieży (Lavanya, 2020).



Rysunek 23. Czynniki wpływające na wybór odzieży (Lavanya, 2020)

2.6.2 Czynniki społeczne

Czynniki społeczne wpływające na wybór odzieży obejmują miejsce zamieszkania, pochodzenie kulturowe osoby, płeć, zawód, przeznaczenie odzieży, status społeczny itp. W zależności od miejsca zamieszkania zmienia się wzór odzieży. Na obszarze miejskim,

ze względu na bliskie interakcje kulturowe, między różnymi grupami ludzi, wzór odzieży nabiera bardziej kosmopolitycznego charakteru. Wychowanie znacząco wpływa na gust osoby w stosunku do odzieży. Współczesne społeczeństwo nie wierzy w uprzedzenia związane z płcią i zdecydowanie się temu sprzeciwia. Poza nielicznymi wyjątkami nadal czujemy się komfortowo utrzymując różnice w odzieży męskiej i damskiej. W zależności od wykonywanego zawodu wyróżniamy różnego rodzaju odzież, np. formalną, mundury czy odzież relaksacyjną, odzież wieczorową itp. Bardzo często dana osoba stara się pokazać swój status społeczny poprzez noszony rodzaj odzieży, trend ten dominuje w każdym społeczeństwie od początku cywilizacji.

2.6.3 Czynniki ekonomiczne

Wśród czynników ekonomicznych wyróżnia się:

1. status ekonomiczny społeczeństwa jako grupy,
2. status ekonomiczny jednostki,
3. dostępność technologii lub surowca.

Zmiana sytuacji ekonomicznej społeczeństwa lub jednostki wpływa znacząco na rodzaj odzieży noszonej przez daną osobę i jej wygląd. Powszechnie wiadomo, że odzież osób bogatych lub biednych różni się jakością (jakość tkaniny), marką, czy też przeznaczeniem odzieży (Lavanya, 2020).

2.6.4 Czynniki środowiskowe

Z czynnikami środowiskowymi związane są warunki klimatyczne (zimno, ciepło, gorąco deszcz, wiatr itp.). Odzież jest dostosowana i produkowana do różnych warunków klimatycznych. Zimne klimaty wymagają odzieży specjalnej, która pozwoli chronić ciało przed zimnem. Tym samym odzież chroniąca przed zimnem nie ma zastosowania w ciepłym klimacie, czyli w zależności od temperatury, odzież różni się zasadniczo i dzieli na dwie kategorie:

- odzież zimową,
- odzież letnią.

Podział odzieży może być także związany z zagrożeniami, jakie mogą płynąć z otoczenia, takich jak:

- materiały wybuchowe,
- trucizny,
- ataki biologiczne,
- ogień,
- promienie radioaktywne lub ultrafioletowe itp.

W zależności od warunków otaczającego środowiska, np. przestrzeń, jaskinie czy nurkowanie itp. zmienia się rodzaj odzieży. W tych miejscach wymagany jest specjalny rodzaj odzieży ochronnej (Lavanya, 2020).

2.6.5 Czynniki fizyczne

Czynniki fizyczne są jednymi z ważniejszych czynników branych pod uwagę w projektowaniu odzieży. Czynniki fizyczne określające odzież to wiek osoby, stan zdrowia osoby, budowa ciała, reakcja fizjologiczna organizmu, poziom aktywności itp. Dobór odzieży przez konsumenta zmienia się wraz z wiekiem osoby, jak również stanem psychicznym i zmianą fizyczną. Dziecko potrzebuje innego rodzaju odzieży niż osoba starsza. Osoby z alergią na dany rodzaj włókna, chciałyby uniknąć noszenia odzieży, która wywołuje u nich stan zapalny np. skóry. Wybór odzieży, zależy również od budowy fizycznej ciała, tj. czy jest tęga czy szczupła, wysoka czy niska itp., np. osoby wysokie wymagają odpowiednio dobranego modelu i wielkości odzieży.

Odzież nie tylko kreuje wygląd osoby, ale także zapewnia jej estetyczny wygląd, osoba nosząca odzież również powinna czerpać z tego przyjemność psychologiczną, jak i fizjologiczną. Odzież pozwala użytkownikowi podkreślić pewne pozytywne walory wyglądu ciała, czy ukryć inne negatywne cechy. Atrybuty estetyczne w odzieży pomagają zminimalizować różnice między kulturowymi koncepcjami piękna, a ich postrzeganym wyglądem, co przyczynia się do poprawy obrazu samego siebie i pozytywnej samooceny osoby. Współczesne badania dążą do określenia pojedynczego wskaźnika komfortu noszenia odzieży (Równanie 13):

$$Wk = \frac{\text{rzeczywistego obszaru kontaktu tkaniny ze skórą}}{\text{odpowiadającego mu widocznego obszaru tkaniny nie mającej kontaktu ze skórą}} \quad (13)$$

Powyższy wskaźnik bardzo dobrze koreluje ze wszystkimi głównymi aspektami komfortu, takimi jak: komfort psychologiczny, termo-fizjologiczny, neurofizjologiczny. Niestety subiektywna ocena nie daje precyzyjnych wskazówek projektowych, z wyjątkiem warunków ekstremalnych, tak więc opinia obiektywna oceny komfortu użytkowego odzieży połączona z subiektywną oceną użytkownika odzieży wydaje się właściwym podejściem (Lavanya, 2020).

2.7 Antropometria w odzieżownictwie

Pomiary antropometryczne pozwalają na masową produkcję odzieży. Przy pomocy metrologii antropometrycznej określa się i wykonuje pomiary reprezentatywnych grup ludności. Pomiary w zależności od tego, czy są główne czy uzupełniające prowadzone są

na odpowiednio dużej losowej próbie populacji i poddawane wyliczeniom statystycznym w celu ich uśrednienia oraz wytypowania uśrednionych grup rozmiarowych. Następnie zaktualizowane wymiary ludzi są grupowane w tabelach wymiarowych, które służą w odzieżownictwie do konstrukcji odzieży i stopniowania szablonów. Pomiarów te wyodrębniają typy figur i grupy modelowe. Antropometria umożliwia budowę wzorca ciała człowieka w postaci manekinów antropometrycznych, czyli tzw. fantomów lub awatarów w systemach CAD/CAM, które odtwarzają uśrednione wymiary i kształty ciała człowieka w danych grupach typologicznych i rozmiarach. Dotychczasowe metody uniemożliwiały precyzyjny pomiar całej powierzchni ciała człowieka, w tym, szczególnie ważnych przy konstrukcji odzieży, powierzchni oporowych. Zdejmowanie wymiarów ciała człowieka ma za zadanie uzyskiwanie kopii 3D sylwetki człowieka lub precyzyjną rekonstrukcję 3D konturów ciała człowieka ze zdjęcia 2D. Skanowanie ciała człowieka otwiera drogę do dokładnych pomiarów oraz innego zapisu tak skomplikowanej powierzchni 3D, jaką jest ciało ludzkie. Dla odzieżownictwa stwarza to ogromne możliwości inżynierskiego projektowania odzieży dopasowanej do ciała.

Przemysł odzieżowy wykorzystuje do projektowania odzieży wymiary ciała człowieka, które są wykorzystywane do konstrukcji form podstawowych. Dlatego antropometria odgrywa ważną rolę w odzieżownictwie. Ważne są informacje o cechach rozmiarowych populacji, które są rozumiane, jako punkty antropometryczne, na podstawie których pobierane są wymiary ciała człowieka, takie jak obwód klatki piersiowej, obwód talii i bioder (Kowalczyk, 2005), oraz informacje o rozkładzie tych cech w populacji. Cechy rozmiarowe są podstawą do konstrukcji form odzieżowych i stopniowania szablonów odzieżowych, natomiast ich rozkład daje podstawę do przewidywania procentowego udziału rozmiarów w zleceniach produkcyjnych. Największy procentowy udział dotyczy rozmiarów środkowych z danej grupy rozmiarowej, podczas gdy udział rozmiarów skrajnych jest mniejszy. Wynika to wprost z rozkładu tych cech w populacji, który przebiega w sposób normalny.

Znajomość praw rozkładu wymiarów ciała człowieka ma znaczący wpływ na budowę systemów rozmiarowych oraz przy określeniu zależności funkcyjnych pomiędzy wymiarami wykorzystywanymi w konstrukcji odzieży (Polański, 2005.).

2.8 Płaszczyzny ciała człowieka

W przemyśle odzieżowym ciało człowieka jest rozpatrywane w płaszczyznach podstawowych i pochodnych płaszczyzn podstawowych, które dzielą ciało liniami na określonych poziomach ciała ludzkiego.

Odzieżownicy dzielą ciało na:

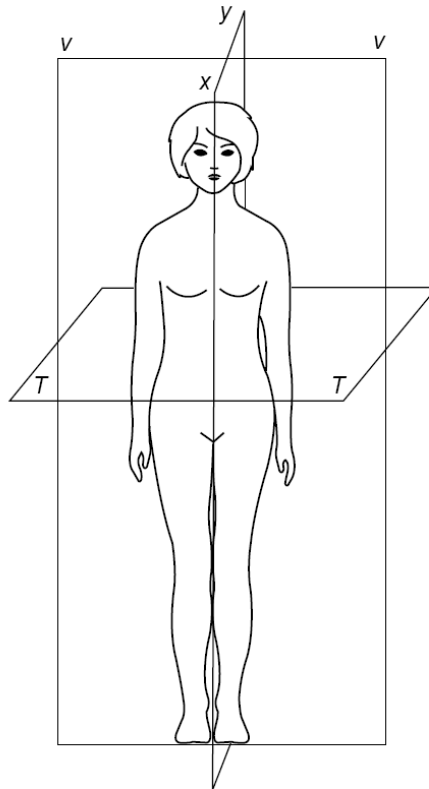
- płaszczyznę strzałkową-środkową określoną osiami X i Y,
- płaszczyznę czołową-środkową opartą na osiach V i V,
- płaszczyznę poprzeczną-środkową na osi T i T.

Płaszczyzna strzałkowa przechodzi przez środek ciała pionowo dzieląc ciało symetrycznie na część lewą i prawą.

Płaszczyzna czołowa przechodzi przez środek prostopadle do płaszczyzny strzałkowej, w ten sposób dzieli ciało na część przód i tył.

Płaszczyzna poprzeczna, która przechodzi poziomo przez talię ciała ludzkiego (największe zwięźlenie ciała nad poziomem linii bioder) prostopadle to płaszczyzny strzałkowej i czołowej dzieli tym samym ciało na część górną i dolną.

Płaszczyzny: strzałkowa, czołowa i poprzeczna z oznaczonymi osiami XY, VV i TT przedstawia Rysunek 24 (Parafianowicz, Słownik odzieżowy, 1995).



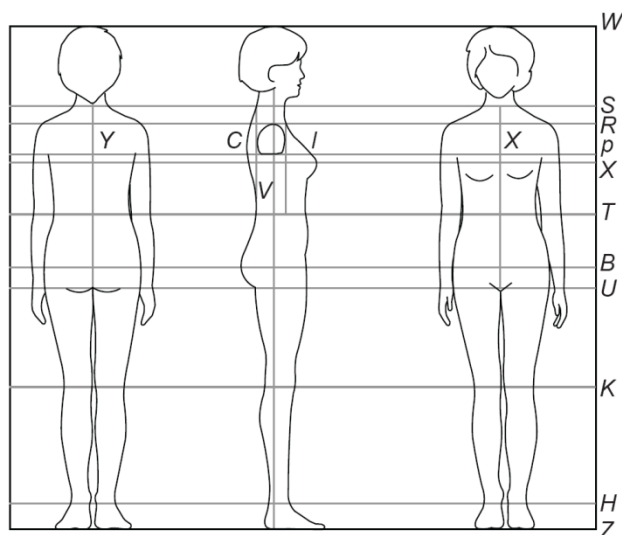
Rysunek 24. Schemat płaszczyzn ciała ludzkiego (Parafianowicz, 1997)

Płaszczyzny pochodne są wyznaczone na podstawie płaszczyzn podstawowych i dzielą ciało ludzkie na bardziej szczegółowe części tj.: biodra, pachy, pachowa tylna itp.

Przecinające się płaszczyzny ciała z powierzchnią ciała tworzą linie ciała, które to określone są następująco:

x – środkowa przednia, y – środkowa tylna, v – tylna, c – pachowa tylna, l – pachowa przednia, W – wierzchołek głowy, S – szyi, R – barków, P – pachy, X – piersi, T – talii, B – bioder, U – krocza, K – kolana, H – kostki stopy, Z – podstawy.

Rysunek 25 przedstawia poszczególne linie ciała wykorzystywane do analizy przekrojów ciała i konstrukcji odzieży (Parafianowicz, 1989). Linie ciała wykorzystywane są do konstrukcji szablonów i wyliczania wielkości odcinków konstrukcyjnych (odcinek zawarty między dwoma punktami, który jest równy wielkości antropometrycznej + dodatek konstrukcyjny) służących do budowy siatki konstrukcyjnej, na podstawie, której wykreśla się kształt form odzieżowych.



Rysunek 25. Linie ciała wyznaczone na ciele ludzkim (Parafianowicz, 1995)

2.9 Budowa i podział manekinów

Manekin ma za zadanie imitować figurę ciała ludzkiego i stosowany jest w szerokim zakresie w przemyśle odzieżowym.

Manekiny w przemyśle odzieżowym posiadają duże znaczenie ze względu na estetykę ich wyglądu i ich praktyczne zastosowanie. Manekiny można podzielić na dwie grupy:

1. Do wykorzystania w sklepach odzieżowych,
2. Do przeznaczenia odzieżowego w trakcie projektowania i pierwszych przymiarek odzieży.

Manekiny używane w sklepach mają za zadanie, jak najbardziej realistycznie przypominać sylwetkę człowieka, wyglądać szczupło, posiadać poprawną sylwetkę (budowę ciała) w celu przyciągnięcia klientów estetycznym wyglądem (Rysunek 27).

Manekiny odzieżowe to manekiny, które mają za zadanie odwzorowywać dany rozmiar, który reprezentuje populację danego kraju, danej grupy etnicznej, wieku itp. (Choi, 2014).

Manekiny przeznaczone do sklepów, są najczęściej wybierane ze względu na asortyment sklepu i wygląd sklepu. W dwudziestym pierwszym wieku technologia cyfrowa posiada duże znaczenie w branży odzieżowej, większość sklepów oferuje sprzedaż internetową. Sklepy tradycyjne próbują przyciągnąć klientów poprzez naturalnie wyglądające manekiny i estetyczny wygląd sklepu. Klient znajdujący się w sklepie ma możliwość dotknięcia i zaobserwowania wybranej odzieży. Odzież na manekinie daje klientowi odwzorowanie rzeczywistego wyglądu nawet wtedy, gdy manekin nie odwzoruje sylwetki klienta. Badania wskazują, iż manekiny „rzeczywiste” posiadają „mocne” odwzorowanie sylwetki człowieka, podczas gdy awatary lub manekiny abstrakcyjne postrzegane są jako proste, a klient ma trudności z wyobrażeniem siebie w danym modelu odzieży widząc tego awatara (skala/wymiar awatara mniejszy niż prawdziwy manekin) (Choi, 2014).

Manekin duch wykorzystany jest wyłącznie do zdjęć odzieży. Manekin zbudowany jest z białego specjalnego materiału. Kolor biały powoduje, że manekin zlewa się z białym tłem i eliminuje odbłaski. Manekin ma możliwość usunięcia elementów tułowia czy rąk, aby łatwiej fotografować ubrania z krótkim rękawem, większym dekoltem itp.

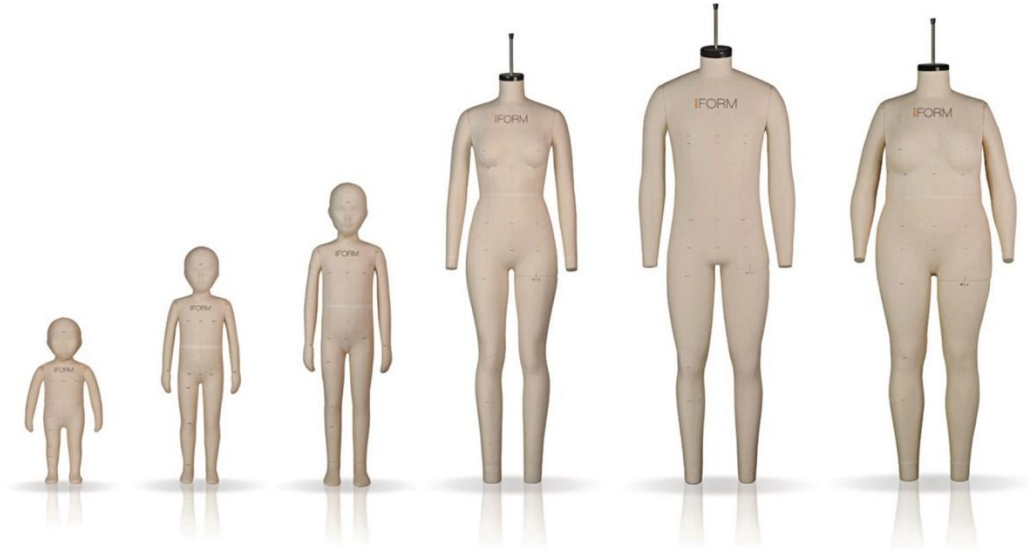
Manekin wystawowy (Rysunek 26) to model ciała człowieka o naturalnej wielkości, wymiary manekina odbiegają od rzeczywistych wymiarów ciała człowieka.



Rysunek 26. Przykładowe manekiny stosowane w sklepach odzieżowych

Manekin krawiecki różni się w znacznym stopniu od manekina antropometrycznego, gdyż reprezentuje tylko kształt torsu ciała ludzkiego bez dolnych kończyn. Manekin nie zawiera rzeczywistych wymiarów i proporcji ciała człowieka, najczęściej stosowany do modelowania skomplikowanych kształtów linii konstrukcyjnych itp.

Manekin antropometryczny (Rysunek 27) jest modelem ciała ludzkiego, gdzie wielkości, kształt klatki piersiowej, tułowia i bioder stanowią wierne odwzorowanie rzeczywistych wymiarów ciała człowieka w określonej grupie typologicznej. Manekiny najczęściej wykonane są z miękkiego tworzywa, które ma na celu imitowanie tkanki ludzkiej.



Rysunek 27. Manekiny antropometryczne dla różnych rodzajów ciała człowieka

2.10 Budowa i podział awatarów

Awatary w przemyśle odzieżowym są definiowane, jako manekiny w wirtualnym środowisku; postacie, które posiadają zastosowanie w różnych dziedzinach np. grach komputerowych, czy w animacjach filmowych. Awatary można podzielić ze względu na ich przeznaczenie czy oczekiwania klientów; wobec czego podział może obejmować:

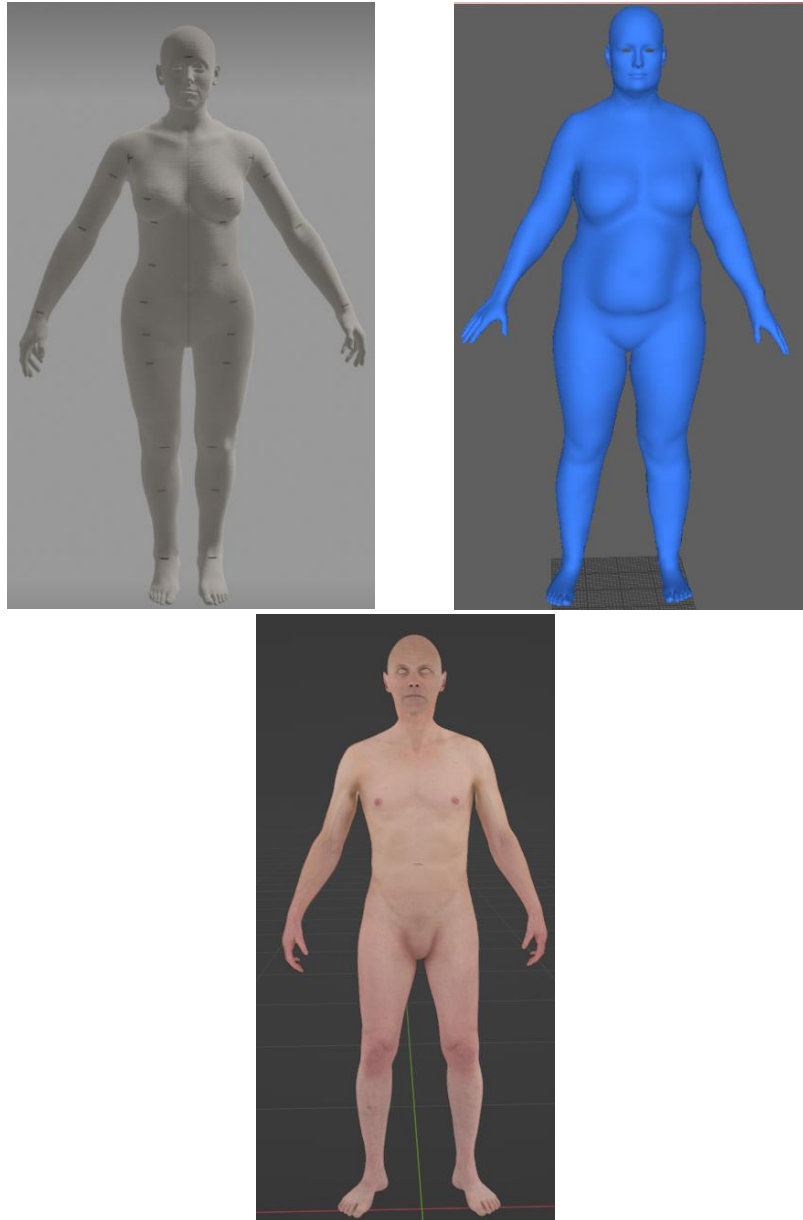
- wygląd,
- przeznaczenie,
- “umiejętności” awatara,
- awatary w “kontekście”,
- ilości awatarów,
- posiadaczy awatarów,
- projektowanie awatarów.

W odzieżownictwie skupiamy się na tym, jak awatary powinny wyglądać i do czego mają służyć. Przeprowadzono badania nad obecnymi awatarami, które są stosowane w różnych programach CAD/CAM (Boberg, 2008). Rysunek 28 obrazuje przykładowe awatary w programie Browzwear i Lectra.



Rysunek 28. Awatary firm Browzwear i Lectra (Browzwear), (Lectra)

Awatary z przeznaczeniem odzieżowym, budowane są na podstawie pomiarów antropometrycznych i tabel wymiarowych. Oznacza to, że awatary są odwzorowaniem manekinów odzieżowych. Awatary odzieżowe, jak i manekiny odzieżowe reprezentują idealną sylwetkę człowieka, czyli nie posiadają żadnych niedoskonałości ciała, zniekształceń spowodowanych nadmiarem np.: wagi tzw. “fałd, oponki tłuszczu” oraz posiadają jeden typ sylwetki zwany „klepsydrą”. Awatary posiadają przybliżony wygląd skóry człowieka, twarz, włosy, stopy, ręce, co pozwala nam mocniej identyfikować się z awatarem (Rysunek 29).



Rysunek 29. Przykłady nowoczesnych awatarów zbliżonych do rzeczywistego wyglądu człowieka (Bałach, 2022)

Awatarom można nadać ruchy, jak i różne pozycje oraz postawy. Skanery ciała ludzkiego 3D starszej generacji odtwarzają realnie wyglądającą budowę ciała ludzkiego. Utworzone awatary muszą być modyfikowane poprzez usunięcie z powierzchni obiektów tzw. „szumów” do uzyskania smukłej i gładkiej sylwetki, co może prowadzić do złego identyfikowania się klienta z awatarem. Nowoczesne technologie, które są wprowadzane, tzw. skanery w telefonach, pozwalają na realne odwzorowanie sylwetki klienta. Aplikacja umożliwia odwzorowanie twarzy osoby skanującej się i dopasowanie do awatara, co pozwala, na stworzenie własnej wirtualnej postaci wraz ze wszystkimi niedoskonałościami i danym typem sylwetki.

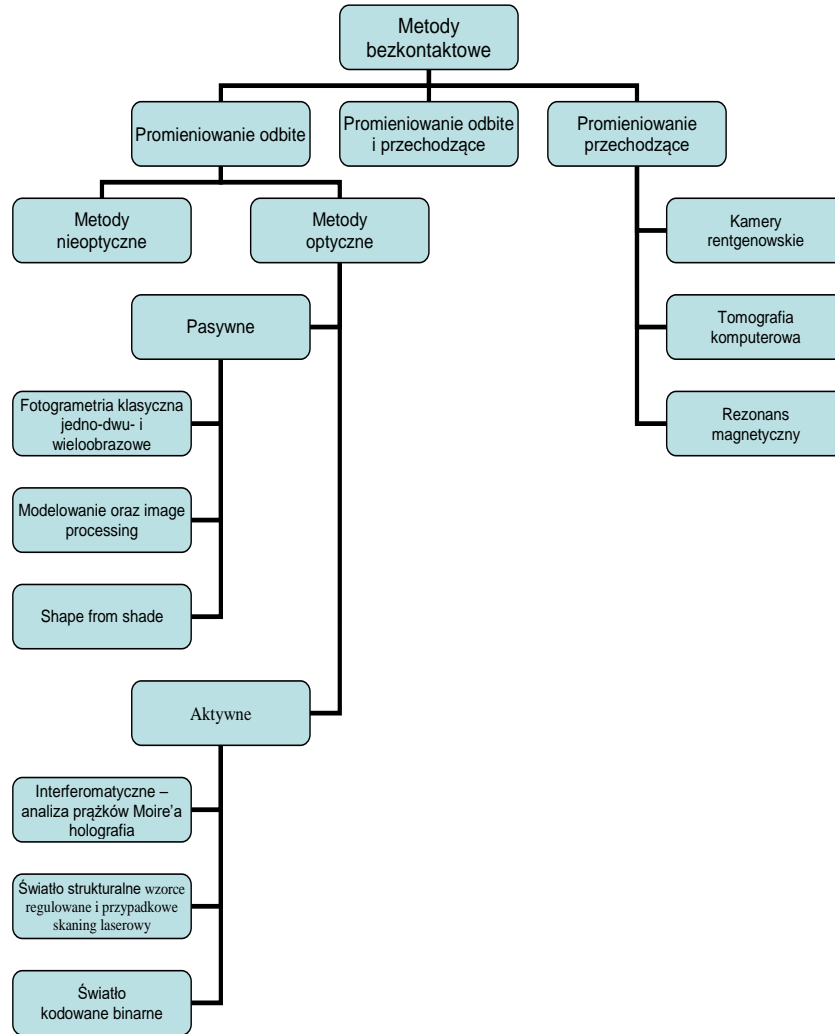
Awatary, które są odwzorowaniem klienta, pozwalają na dokładną przymiarke. Odzież układa się na powierzchni awatara, jak na rzeczywistej sylwetce (Bałach, 2019).

2.11 Skanery 3D – bezkontaktowe metody pomiarowe

Skanery 3D są to urządzenia, które służą do tworzenia modeli 3D na podstawie fizycznego obiektu np. ciało ludzkie, organizm człowieka składający się ze szkieletu, mięśni, narządów wewnętrznych i skóry. Wygenerowane przez skaner 3D modele to pliki w postaci chmury punktów, najczęściej w rozszerzeniu STL lub OBJ. We wcześniejszych latach skanery były tylko dostępne dla ośrodków badawczych, które prowadziły badania nad zmianami wymiarów ciała człowieka, jak również w dziedzinie medycyny. Systemy CAD/CAM są ważnym elementem dla przemysłu odzieżowego, ponieważ pozwalają na cyfrową analizę budowy ciała, przetwarzanie danych na wymiary 2D, czyli tworzenie wykrojów odzieżowych, a w końcowym etapie na wirtualną przymiarke odzieży w trójwymiarowej przestrzeni. Stworzenie trójwymiarowego środowiska do wirtualnych przymiarek odzieży pozwala na szybką produkcję odzieży z minimalizowaniem kosztów produkcji.

W pierwszym etapie tworzenia wirtualnej przymiarki w branży odzieżowej ważne jest stworzenie reprezentatywnego awatara. Awatar ten będzie reprezentował daną grupę populacji, w zależności, od tego, dla kogo jest przeznaczona odzież – kobiety, mężczyźni czy dziecka. W związku z tym większość firm odzieżowych aktualizuje wymiary ludzkie korzystając z wyników badań kampanii skanujących populacje.

Rysunek 30 przedstawia współczesne komercyjne systemy pomiarowe, do których zalicza się pomiary wykorzystujące skanowanie laserowe, projekcję wzorców świetlnych medium światła białego oraz skanery wykorzystujące pomiary fotogrametryczne (Bałach, 2007).



Rysunek 30. Ogólny podział skanerów ze względu na metody ich działania (Bałach, 2007)

Projekty z wykorzystaniem skanera podjęto w latach 90-tych, przez firmę Cyberware. Pierwsze modele skanerów, które sprzedawano wojsku ważyły nawet do 450 kg. Z czasem ich funkcjonalność i rozmiary uległy zmianie. Skanery przeznaczone są do zbierania wymiarów człowieka. W przemyśle odzieżowym wymiarowanie ciała człowieka przy użyciu skanerów zaliczane jest do metod bezkontaktowych (Bałach, 2007). Tabela 2 przedstawia podział skanerów. Skanery można podzielić ze względu na:

1. Rodzaj wykorzystywanych metod optycznych,
2. Czas skanowania,
3. Czas przetwarzania wyników pomiarów człowieka,
4. Wymiary skanera,
5. Wagę skanera,
6. Ilości/jakości czujników w skanerze,
7. Gęstości danych,
8. Precyzji skanera.

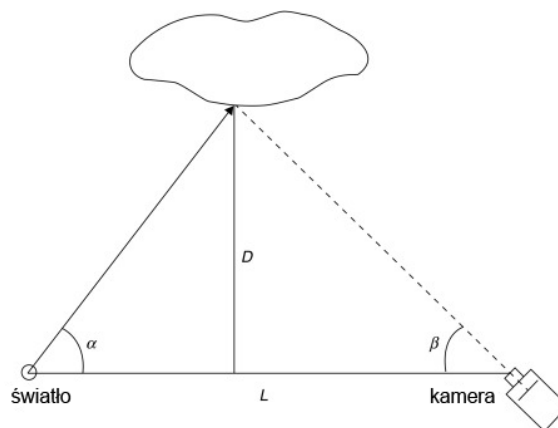
Tabela 2 Podstawowe skanery 3D do pobierania wymiarów człowieka (Bałach, 2022)

<i>Metoda optyczna</i>	<i>Systemy skanowania</i>
Laser technology	Cubic
	Cyberware - WB4
	Hamano - Voxelan HEW1800
	Polhemus - fast Scan
	TechMath - VitusSmart
Phase shift	DCTA - Automate
	RSI - DigiScan 2000
	TC ² - Image Twin
	TELMAT - SYMCAD
	Wicks and Wilson - TriForm
Moire topography	Fujinon - FM40SC
	PolyU - CubiCam
Infrared technology	Hamamatsu - BodyLine
	Hokuriku - Conusette
Photogrammery	Inspeck - Capturor
	Loughborough - LASS

W większości skanerów występuje światło projektora i światło czujników (halogeny, podczerwień lub laser). W przypadku skanerów laserowych muszą one być bezpieczne dla oczu zazwyczaj klasy 1. Dla skanera Cyberware, Vortronici Hamar kamera jest zamontowana powyżej i poniżej projektora, natomiast w skanerze Tec Math kamera jest zamontowana powyżej projektora. Wadą tego ostatniego jest fakt, że pomiary w dolnej części ciała nie są dokładne lub czasem ich brakuje. Skanery CubiCam, TC2 i Telmat rzutują na ciało strukturalne pasy światła, a obrazy są przechwytywane i analizowane w różny sposób, najczęściej w formie chmury punktów lub jako 3D model. Gęstość danych to ważny czynnik, ponieważ większa gęstość danych skutkuje większą dokładnością skanera. Dzięki nowym technologiom większość skanerów umożliwia czytanie danych 3D, udostępnianie i wymianę informacji między aplikacjami komputerowymi. Może także zapewnić automatyczną ekstrakcję pomiarów z zeskanowanych danych 3D, aby wymiary ciała były szybko dostępne (Yu, 2004).

Skanery zapewniają realistyczną trójwymiarową wizualizację ciała człowieka. Skanowanie całego ciała człowieka to przede wszystkim szybka analiza danych. Proces skanowania zajmuje tylko 5–15 sekund w zależności od urządzenia skanującego, a wygenerowanie pomiarów ciała ze skanowania zajmuje do kilku sekund. Właśnie ta zdolność uchwycenia pełnego obrazu kształtu ciała osoby w tak krótkim czasie jest bardzo ważna nie tylko dla odzieżownictwa, ale i badań antropometrycznych (Bałach, 2007).

Proces działania skanera możemy opisać jako pojedynczą wiązkę światła rzucaną na ciało osoby skanowanej. Kamery zamontowane w skanerze, rejestrują światło pod kątem (α). Odległość pomiędzy ciałem człowieka, kamerą, a kątem (β) nachylenia linii łączącej światło z kamery jest istotnym elementem procesu skanowania i jest określona przez producentów skanerów. Następnie światło łączące punkt na ciele ze światłem z kamery jest rejestrowane przez skaner i w ten sposób znana jest głębokość ciała ludzkiego. Wiązka światła dzieli ciało, na części (od dołu do góry) budując w ten sposób obraz 3D w postaci binarnej. Rysunek 31 przedstawia, tworzenie obiektu z wykorzystaniem skanera.



Rysunek 31. Uproszczony schemat tworzenia obrazu 3D przez skaner (Bałach, 2007)

Kolejny sposób skanowania ciała ludzkiego związany jest z zamontowaniem kilku kamer pod różnym kątem, dzięki czemu ta metoda jest szybsza, jakkolwiek wymaga większej ilości kamer. Przykładem takiego skanera jest skaner SizeStream.

Skanery podczas skanowania obiektu tworzą chmurę punktów 3D. Skaner o wysokiej rozdzielczości wytwarza gęstszą chmurę punktów niż skaner o niższej rozdzielczości. Wyższa rozdzielczość jest zazwyczaj potrzebna, jeśli obiekt musi być dokładnie odwzorowany. Dostępne na rynku skanery 3D całego ciała człowieka zapewniają dokładność skanowania do 5 mm, według producentów, np. VITUS XXL do – 1 mm, TC² – do 3 mm lub skaner ciała SizeStream do – 5 mm. W systemach multi scanner (np. Skanery 3dMD) lub skanerach ręcznych (np. Skanerach Artec Group) zgłaszana dokładność może być znacznie wyższa nawet do ułamka milimetra. Rzeczywista dokładność ostatecznego skanu 3D ciała składającego się z wielu pojedynczych ramek, które muszą zostać wprowadzone do wspólnego układu współrzędnych i wyrównane, jest ogólnie znacznie lepsza. Jakość takiego wyrównania przestrzennego silnie zależy od obfitości cech geometrycznych skanowanego obiektu (Bałach, 2007).

Chmura punktów wytworzona przez skaner jest przekształcana w cyfrową „kopię 3D” człowieka. Wirtualne odwzorowanie postaci człowieka nazywane jest awatarem. Punkty wytworzone przez skaner są łączone ze sobą, tworząc w kolejnym etapie siatkę. Siatka

zbudowana jest z trójkątów tzw. „poligonów”. Trójkąty siatki, mogą być redukowane ilościowo do stworzenia gładkiej powierzchni awatara lub zwiększane ilościowo, aby stworzyć chropowatą/nierówną powierzchnie awatara. Pozwala to na kontrolowanie kształtów ciała człowieka, np.: nosa. Trzeba zwiększyć ilość trójkątów, aby kształt nosa nie był spłaszczony. Tak stworzone awatary można wykorzystać w programach do wirtualnej symulacji odzieży. Posiadanie bazy danych 3D danej populacji pozwala na stworzenie modelu człowieka w różnych grupach, rozmiarach, co zwiększa potencjał wirtualnej przymiarki odzieży (Fan, 2004), (Zhang, 2014). Większość skanerów musi być kalibrowana przed użyciem, aby sensory były ustawione według wymagań. Skanery starszej generacji, nie odtwarzają twarzy, rąk czy stóp.

Trendy związane ze skanowaniem 3D oraz dostępność technologii (Deep Learning) zaowocowały w 2018 roku zaprojektowaniem skanerów z webcams, gdzie obraz jest przesyłany z wykorzystaniem Internetu, smartfonów czy Kinect'a. Przykładem może być Skaner Molyboga and Makeev, gdzie wymiary człowieka przekazywane są, jako pojedyncze zdjęcia (2D). Skanery, te wykorzystują algorytm, który generuje wymiar ciała i tworzą rekonstrukcję ciała ludzkiego w postaci wirtualnej. Nowoczesne skanery, z wysoką rozdzielczością, potrafią zeskanować również całą twarz, stopy i dłonie człowieka.

W 2018 roku na rynku pojawiły się skanery w technologii 4D. Skanery 4D pozwalają na zeskanowanie ciała ludzkiego podczas ruchu. Z nowych badań wynika, iż ciało podczas ruchu zmienia wymiary, co przy zastosowaniu skanerów 3D w pozycji statycznej nie brano pod uwagę. W aspekcie odzieżowym ubrania powinny być poprawnie dobrane do danego ciała w zależności od klimatu, przeznaczenia, funkcjonalności, jak również powinny uwzględniać uczucie piękna. W różnych środowiskach, pasowalność odzieży jest różna np. dla sportowców ważnym elementem jest docisk odzieży do ciała nazywany kompresją, która pozwala na lepszy przepływ krwi i wpływa na wysokość ciśnienia krwi itp. Badania potwierdzają, że wymiary ciała człowieka zmieniają się podczas ruchu, a naprężone mięśnie zwiększają swoją objętość (Pons-Moll, 2017).

Firma 3dMD z Niemiec, zwróciła uwagę na problem zmiany wymiaru wybranych części ciała podczas ruchu. Skanery 4D pozwalają na uchwycenie uporządkowanej sekwencji obrazów 3dMD w czasie, z częstotliwością do 60 Hz (klatek 3D na sekundę). Skanery 3dMD, dają możliwość określania interakcji człowieka z odzieżą. Ponadto interakcja człowieka między dwoma podmiotami zostaje udokumentowana i zmierzona, gdy zsynchronizowanych jest wiele czasowych systemów 3dMD (Klepser, 2020).

Kolejny postęp nastąpił wraz z dostarczeniem pierwszego na świecie systemu rejestrowania wyników w trybie, gdzie jednocześnie tworzona jest powierzchnia 3D bez chmury punktów w Instytucie Maxa Plancka w Tybindze w Niemczech (MPI). Skaner 3dMD wymagał prawdziwej anatomicznej dokumentacji 3D, zachowania tkanek miękkich, co do tej pory nie było możliwe w tradycyjnych systemach przechwytywania ruchu opartego na markerach (MoCap).

System 3dMD realizuje serię dynamicznych lub pojedynczych ujęć skanowanych obiektów, co umożliwia towarzyszącemu oprogramowaniu (algorytmy pozwalające na

dokładny odczyt i opis optyczny danego obiektu) prezentować informacje szczegółowe (np. na skórze człowieka widoczne są pory). W wyniku innowacji technologicznych dostarczonych do Instytutu Maxa Plancka po serii prób z klientami, w styczniu 2016 r. 3dMD wprowadzono platformę oprogramowania do przechwytywania obrazów najnowszej generacji i budowy dokładniejszego awatara. Najnowsza platforma 3dMD stanowi solidne podstawy dopasowania ujęć do obrazu oraz produkty czasowe – 3D do wspierania przyszłych ścieżek aktualizacji przy szybko rosnących wymaganiach badawczych, poprzez zwiększenie liczby klatek na sekundę i zasięgu systemu, w celu dostosowania do nowych ewoluujących procedur wydajności obiektu (Zeraatkar, 2020). Obecnie zakres czasowych systemów 3dMD obejmuje: nieinwazyjny system oświetlenia oparty na diodach LED dla bezpieczeństwa wzroku oraz komfortu fotografowanych osób. Eliminuje w ten sposób potrzebę specjalnego makijażu lub przygotowania powierzchni, minimalizuje bodźce rozpraszające, aby promować najbardziej naturalne obrazy klienta. Wcześniej nie było możliwości, obiektywnego oszacowania anatomicznego ruchu i ekspresji dorosłych, dzieci i niemowląt, wszystkich odcieni skóry w naturalnym, nienarzucającym się otoczeniu. Każde ujęcie 3dMD jest renderowane (graficzne przedstawienie treści zapisanej cyfrowo w formie właściwej dla danego środowiska) osobno i zachowuje stałą dokładność, aby zapewnić brak drgań w wynikowych modelach tkanek miękkich 3D. Eliminacja fluktuacji pozwala na płynne, sekwencyjne odtwarzanie, tworząc platformę dla wysoce przefiltrowanej analizy gęstości ruchu (dokładne kąty załamania ciała człowieka podczas ruchu) (Pons-Moll, 2017).

2.12 Systemy CAD/CAM i CIM

Pomiary antropometryczne z uwzględnieniem użycia skanerów 3D umożliwiają precyzyjne tworzenie awatarów, jak również manekinów i tabel wymiarowych, co prowadzi do wytwarzania odzieży tak zwanej „szytej na miarę” – „Made to measure” (MTM).

Program szycia na miarę, występuje prawie w każdym systemie CAD/CAM takich firm, jak Optitex, Lectra, Gerber, Browzwear itp. Koncept platformy MTM ma za zadanie realizować szybką przymiarkę odzieży i korektę form, jeśli jest to wymagane. Niektóre systemy CAD/CAM posiadają możliwość wprowadzenia poprawek odzieży na awatarze w 3D, jakkolwiek w większości przypadków wszelkie retusze form nanoszone są w 2D (De Raeve, 2018).

Dobre dopasowanie odzieży do ciała jest bardzo ważnym elementem przy produkcji odzieży masowej. Przemysł odzieżowy boryka się z dużym zróżnicowaniem etnicznym, co prowadzi do stworzenia kilku wirtualnych awatarów, które mogą reprezentować etniczne pochodzenie klientów. Awatary (wirtualne manekiny) do systemów CAD/CAM są tworzone z wykorzystaniem różnych programów, takich jak RapidForm, Maya, Cinema 4D, Make Human itp. (De Raeve, 2018).

Analiza wirtualnej przymiarki odzieży jest bardzo skomplikowana. Jest to proces ściśle związany z ludzkimi wymiarami w środowisku trójwymiarowym z wykrojami w formie dwuwymiarowej. Definicja dobrze dopasowanej odzieży jest rozumiana jako “odzież, która drapuje się” (układa się) gładko i równomiernie na ciele, bez żadnych zniekształceń tkaniny, szwy są proste i odzież posiada „łatwość dopasowania się do ruchów człowieka bez niepożądanych napięć”, co jest rozumiane jako odpowiednia wielkość luzów odzieżowych (Ashdown, 2004). Skanery 3D mogą być wykorzystywane do analizy układalności tkaniny na ciele. Platformy do wirtualnej symulacji odzieży nie odzwierciedlają rzeczywistej układalności tkaniny na awatarze.

Odzież wirtualna może być bezpośrednio stworzona na ciele awatara, podążając za kształtem trójwymiarowej formy ciała i biorąc pod uwagę luzy odzieżowe. Możliwe jest sprowadzenie formy 3D odzieży do dwuwymiarowej postaci celem przyszłych modyfikacji w systemie CAD/CAM przejście z formy 3D do 2D (Ashdown, 2004), (Cichocka, 2008).

W przemyśle odzieżowym, istnieją cztery systemy określające komputeryzację przemysłu:

1. CAD (Computer Aided Design),
2. CAM (Computer Aided Manufacture),
3. CIM (Computer Integrate Manufacture),
4. CAT (Computer Aided Testing).

Systemy CAD – są używane do projektowania przędz, materiałów i odzieży. Systemy te służą również do wirtualnej przymiarki odzieży bez jej odszywania, czyli jest to pierwszy krok, kiedy technolog widzi daną odzież na awatarze w 3D.

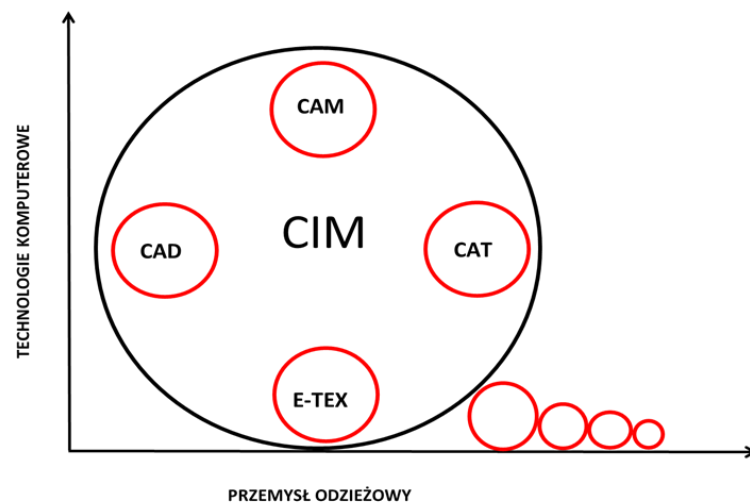
Systemy CAM – są to systemy do kontrolowania produkcji odzieży, najczęściej w fabrykach odzieżowych, dziewiarskich, do kontrolowania przędzenia i procesów końcowych.

Systemy CIM – kontrolują całą produkcję, kontrolę jakości. Dzięki tym systemom produkcja przebiega szybciej i jest zoptymalizowana.

Systemy CAT – są to systemy do sterowania analogowymi lub cyfrowymi technikami testowymi w celu oceny jakości produktów.

Dodatkowym systemem, o którym należy wspomnieć jest system CAT (Computer Aided Testing). Jest to system cyfrowy i automatyczny, do oceny jakości testów oraz kontroli przetwarzania tekstyliów i produktów za pomocą komputerowych technik testowania, takich jak komputerowa analiza obrazu i sztuczna inteligencja.

Połączenie elektroniki z odzieżą, wprowadza w odzieżownictwie nowe pojęcie jakim jest E-TEX. Są to e-tekstyli, czyli materiały z różnego rodzaju czujnikami tj.: ciepła, wilgoci, ruchu itp. Czujniki przekazują informacje do komputera, gdzie następuje ich analiza. Tekstyli te mają na celu np. kontrolowanie metabolizmu, czy ładowanie urządzeń elektrycznych, takich jak telefon. Poniżej przedstawiony jest schemat technologii komputerowych w przemyśle odzieżowym (Rysunek 32) (Kiron, 2021).



Rysunek 32. Technologie komputerowe w przemyśle odzieżowym (Kiron, 2021)

Systemy CAD/CAM są to najczęściej oprogramowania, które pozwalają na budowę form odzieży. Aby stworzyć poprawne formy odzieżowe należy znać: antropometrię ciała ludzkiego, przeznaczenie odzieży, pasowność odzieży, właściwości materiałów, posiadać umiejętność tworzenia form odzieżowych i symulowania odzieży w przestrzeni 3D (Kiron, 2021).

W ostatnich latach, możemy zauważyć dynamiczny rozwój przemysłu odzieżowego. Tempo, w jakim rozwija się przemysł odzieżowy, z wykorzystaniem różnego rodzaju programów, stanowi wyzwanie dla odzieżowników, aby rozwijać i ulepszać programy czy maszyny odzieżowe itp. Obecnie można zauważyć brak wykwalifikowanych osób do pracy w środowisku wirtualnym z wykorzystaniem systemów CAD/CAM.

Rozwój i ulepszanie programów, pozwala zastępować umiejętności ludzkie poprzez stosowanie różnego rodzaju maszyn, programów, algorytmów itp. w celu zredukowania kosztów produkcji czasu i ilości osób zaangażowanych w produkcję.

Jak już wcześniej wspomniano, skanery do pomiaru ciała ludzkiego pozwalają w szybki i dokładny sposób zmierzyć oraz zbudować w trójwymiarowej przestrzeni kształt ciała osoby mierzonej, czyli awatara. Obecnie prowadzone są badania nad stworzeniem programu komputerowego, gdzie po zeskanowaniu osoby, program oblicza i kreśli formę odzieżową z wykorzystaniem dwóch metod, metody Gill 2018 i metody Beazley & Bond 2003. Jak widzimy przemysł dąży do indywidualnego dopasowywania odzieży (Gill, 2018). Pojęcie pasowności jest rozumiane według Cain'a, jako ścisłe nawiązanie do antropometrii ciała ludzkiego i samopoczucia. Natomiast Erwin i Kinchen (Erwin, Kinchen, & Peters, 1979), (Gill S., 2018) twierdzą, że na dopasowanie odzieży ma wpływ pięć czynników tj.: luzy, linia układania się materiału w wyrobie, linia zastosowanych cięć w modelu odzieży, tzw. balans pomiędzy przodem i tyłem odzieży (przebieg linii boku oraz linii dołu wyrobu odzieżowego), zestawienie materiałów. Projektowanie poprawnych

form jest bardzo ważnym elementem w przemyśle odzieżowym. Od poprawności form odzieżowych zależy dopasowanie odzieży do użytkownika, samopoczucie i komfort klientów noszących odzież. Naukowcy dążą do unowocześniania i tworzenia nowych technologii dla przemysłu odzieżowego również ze względu na brak wykwalifikowanych pracowników.

2.13 Formy odzieżowe i format ich zapisywania w systemach CAD

Wirtualne projektowanie odzieży znacząco rozwinęło się wraz z rozwojem systemów CAD/CAM. Branża odzieżowa, w coraz większym stopniu, opiera się na technologiach komputerowych od projektowania produktu odzieżowego do jego rzeczywistego uzyskania. Ze względu na fakt, iż komputery są coraz szerzej stosowane w projektowaniu oraz automatyzacji produkcji, branża staje się coraz bardziej świadoma korzyści z wymiany informacji drogą elektroniczną (Lee, 1992).

Większość systemów CAD odzieży obsługuje format zapisywania plików w DXF (Drawing Exchange Format). Plik DXF jest nazywany jako plik „danych etykietowanych”. Istnieją formaty, takie jak AAMA (Amerykańskie Stowarzyszenie Producentów Odzieży, używana przez oprogramowanie Lectra), ASTM (Standardowy System Zapisywania Szablonów Odzieżowych, używane przez oprogramowanie Gerber), MDL format również używany przez program Lectra, PDS format używany przez oprogramowanie Optitex, MRK. plik zapisany w programie Gerber.

Pliki DXF z różnych systemów CAD nie są odczytywane ze względu na drobne różnice między systemami, jakkolwiek plik DXF można tak zapisać, aby był odczytany w każdym systemie (Kim, 2006).

Plik zapisany w formacie DXF jest zaprojektowany do obsługi rysunków technicznych. DXF to specjalnie sformatowany plik ASCII, jest on stworzony poprzez użycie standardowych znaków na klawiaturze komputera i może być przeglądany w aplikacji do przetwarzania tekstu, np. Microsoft Word czy Adobe Reader, Adobe Illustrator (Shin, 2006).

Formy odzieżowe są zapisane jako proste pliki DXF.

Ogólna budowa pliku DXF:

1. Sekcja nagłówkowa - HEADER – zawiera ogólną informację o rysunku obiektu np. (zmiennne systemowe).
2. Sekcja klasy - CLASSES – zawiera informacje na temat klas obiektów. Klasy pojawiają się w sekcjach: bloki (blocks), elementy (entities) i obiekty (objects).
3. Sekcja tabel - TABLES – jest to szereg tablic, których elementy są zawierane w rysunkach. Tabele posiadają nazwy np. tabela rodzajów linii (LTYPE), tabela warstwy (LAYER), tabelę stylów tekstów (style), tabelę lokalnych układów współrzędnych (ucs).
4. Sekcja bloki - BLOCKS – sekcja zbudowana z bloków zawierająca informacje o elemencie graficznym wykorzystywanym w rysunku.

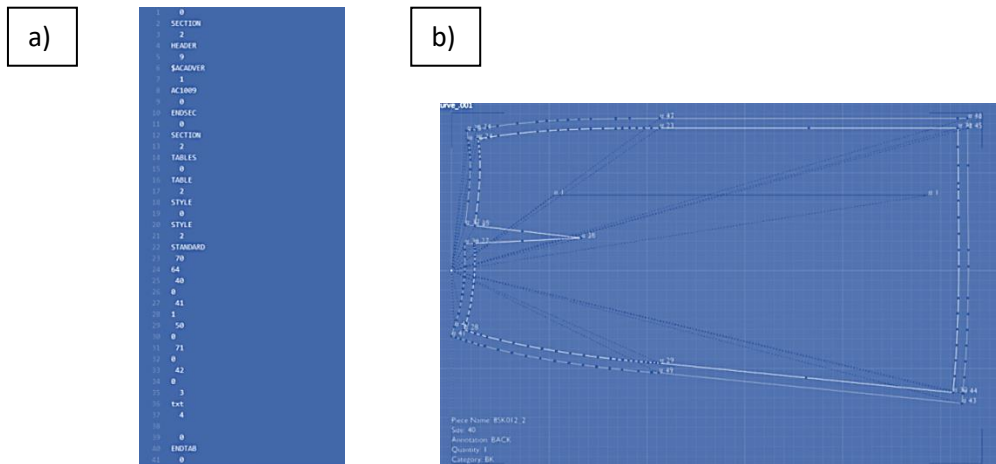
5. Sekcja elementów - ENTITIES – zawiera elementy rysunku wraz z użytymi odnośnikami do bloków.
6. Sekcja obiektów - OBJECTS – to sekcja, która odnosi się do obiektów niebędących obiektami graficznymi.
7. Koniec pliku - END OF THE FILE – znacznik końca pliku.

Plik DXF utworzony jest z wielu grup, z których każda stanowi w pliku dwie linie – pierwsza stanowi kod grupy, który jest liczbą (całkowitą), druga linia stanowi wartość grupy, a jej format zależy od typu grupy (określonego za pomocą kodu grupy).

Najważniejsze kody grup:

- | | |
|--------------|---|
| 0 | Tekst wskazujący na typ elementu, |
| 1 | Główny tekst dla danego elementu, |
| 2 | Nazwa etykiety atrybutu, nazwa bloku itp., |
| 3-4 | Pozostałe wartości tekstowe lub nazwy, |
| 5 | Identyfikator elementów tekstowych, |
| 6 | Nazwa rodzaju linii, |
| 7 | Nazwa stylu tekstu, |
| 8 | Nazwa warstwy, |
| 9 | Identyfikator nazwy zmiennej (używany tylko w sekcji nagłówka (HEADER) pliku DXF), |
| 10 | Główny punkt – współrzędna X. Jest to punkt początkowy elementu linia lub tekst, środek okręgu i tym podobne (po niej następuje wartość Y i Z, kody 20 i 30), |
| 11-18 | Pozostałe punkty - współrzędna X pozostałego punktu, |
| 20, 30 | Współrzędne Y i Z głównego punktu, |
| 21-28, 31-38 | Współrzędne Y i Z pozostałych punktów, |
| 40-48 | Wartości zmiennoprzecinkowe (wysokość tekstu, współczynniki skali i temu podobne), |
| 50-58 | Kąty (wyjście w stopniach w plikach DXF), |
| 62 | Numer koloru (jeśli inny niż warstwa), |
| 70-78 | Wartości całkowite, takie jak liczba powtórzeń lub tryby pracy. |

Rysunek 33 przedstawia strukturę pliku DXF (1D i 2D), tworzonego jako plik tekstowy za pomocą notatnika i zapisywany z rozszerzeniem DXF. Przy tworzeniu pliku DXF używamy wyłącznie dużych liter (Autodesk, 2011-2021), (Xu, 2019).



Rysunek 33. Przykładowy plik czytania DXF i reprezentacja w 2D a) struktura pliku DXF b) struktura pliku DXF w postaci rysunku 2D

2.14 Badania i rozważania na temat wirtualnych przymiarek odzieży

Systemy skanowania ciała i skomputeryzowane awatary zostały opracowane, aby zaoferować konsumentom nowe opcje dopasowania i wirtualnego przymierzania odzieży (Lin, 2018). Wiele firm odzieżowych „przechodzi” z fizycznych manekinów na wirtualne modele ciała człowieka, czyli awatary, ponieważ zapewnia im to większą elastyczność w szybkiej aktualizacji awataru o nowe rozmiary, a także zmniejsza koszty produkcji. W ostatnich latach postęp w technologii awatarów doprowadził do rozwoju „miękkich” awatarów. Te awatary imitują ściśliwość tkanek ludzkiego ciała, takich jak piersi, wałki tłuszczu, a odwzorowanie tkanki mięśniowej poprzez nową technologię pomaga w rozwoju procesu 3D symulacji odzieży ściskającej tzw. „kompresyjnej”, jak np. odzież sportowa. Branża odzieżowa pracuje obecnie z awatarami o gładkich konturach i tzw. „twardej budowie”, podobnie jak w branży gier i filmów. Te awatary mogą być atrakcyjne wizualnie, ale niekoniecznie muszą odpowiadać prawdziwej ludzkiej postaci, co powoduje problemy w projektowaniu dokładnych wzorów odzieży. Internetowe firmy odzieżowe używają „gładkich” awatarów dla klientów, a przyczynia się do tego wygląd bardziej korzystny niż rzeczywisty, co skutkuje tym, że tak naprawdę klient nie wie, jak będzie wyglądać w prawdziwym ubraniu. Może to mieć wpływ na generalny współczynnik zadowolenia, ponieważ rozczarowani klienci zwracają ubrania, które nie pasują tak dobrze, jak w środowisku internetowym. Wielu sprzedawców internetowych oferuje teraz personalizowaną (osobistą) opcję dopasowania odzieży do sylwetki, w której klient podaje informacje, o swoim wieku, wzroście, rozmiarze biustu, obwodzie talii i bioder. Te dane pomagają oprogramowaniu wygenerować symetrycznego awataru. Opcja ta jednak nie obejmuje osób niepełnosprawnych lub osób starszych, które często mają defekty budowy i postawy. Symetryczny awatar o gładkiej powierzchni jest nie odpowiedni, ponieważ w tym przypadku nie jest w stanie poprawnie symulować dopasowania odzieży do sylwetki tak, jak w rzeczywistości.

Obecni twórcy programów 3D wykorzystują wyidealizowane awatary reprezentujące ludzką postać. Program pobiera pomiary uzyskane ze skanowania i manipuluje kształtem awatara tak, aby dopasować dane pomiary. Problem polega na tym, że prawdziwy kształt ciała, ze wszystkimi jego zawiłościami, nie jest dokładnie uchwycony. Prawdziwe skany ciała mogą być wykorzystywane do generowania szytych na miarę wzorów odzieży o znacznie lepszym dopasowaniu w porównaniu z symetrycznymi awatarami utworzonymi poprzez programy CAD.

Wyzwaniem dla wirtualnego pasowania odzieży w 3D jest odtworzenie jakości dopasowania odzieży do zbliżonej jej rzeczywistej postaci na prawdziwej osobie. Aby to osiągnąć, kluczowe jest, aby wirtualny awatar był jak najbardziej realistyczny, co oznacza, że powinien mieć wszystkie rzeczywiste kontury i asymetrię prawdziwego ludzkiego ciała.

Balach, Cichocka i Frydrych (Balach, 2021) przeprowadziły eksperyment, aby określić, w jaki sposób kształt i asymetria ciała wpływa na rzeczywiste i wirtualne dopasowanie odzieży do sylwetki. Rysunek 34 przedstawia kobietę w wieku 50 lat, która została zeskanowana w podstawowej sukience, a następnie zeskanowana ponownie w tej samej pozycji stojącej bez sukienki w celu pozyskania budowy ciała i digitalizacji do systemu 3D.



Rysunek 34. Porównanie rzeczywistego skanu sukienki z sukienką wygenerowaną w symulacji w programie Browzwear (Balach, 2021)

Aby określić różnicę między dopasowaniem rzeczywistym a wirtualnym, brano pod uwagę:

- rzeczywisty skan osoby ubranej w sukienkę,
- skan osoby ubranej w wirtualną sukienkę,
- awatar proponowany przez system CAD (wirtualna modelka) ubrany w wirtualną sukienkę.

Luzy określone jako odległość między odzieżą a ciałem, mierzono na 5 różnych poziomach rozpoczynając od linii talii i przesuwając się w dół ciała co 10 cm.

Porównując skan ciała człowieka w sukience wirtualnej z rzeczywistym skanem ubranego w sukienkę ciała kobiety zaobserwowano, iż różnice są mniejsze niż różnice

zaobserwowane dla wirtualnej przymiarki sukienki z wykorzystaniem symetrycznego awatara proponowanego przez system CAD.

Analiza porównawcza skanu rzeczywistego ciała człowieka noszącego sukienkę z symulacją 3D przy użyciu awatara wskazuje duże różnice w okolicy łędźwiowej pleców, a zatem algorytm dopasowania tkaniny do sylwetki nie jest dokładny.

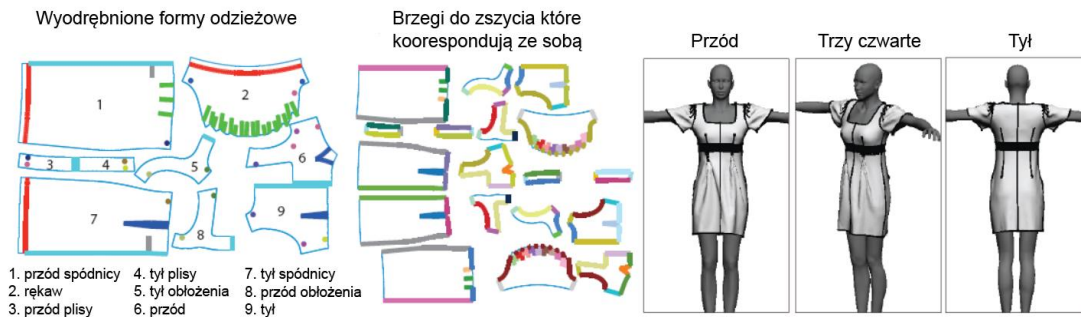
Oprogramowanie realizuje wirtualną przymiarkę odzieży i symuluje jej układalność z pewnym przybliżeniem. Właściwości mechaniczne materiału, takie jak sztywność zginania, mogą mieć ogromny wpływ na właściwości układalności odzieży w 3D. Wyniki uzyskane przez Bałach, Cichocką i Frydrych sugerowałyby, że właściwości mechaniczne tkanin dla typowanych symulacji 3D są albo ignorowane, albo niewłaściwie uwzględniane w algorytmach stosowanych do wirtualnej przymiarki odzieży i symulacji układalności tkanin w wyrobie odzieżowym na awatarze.

Wydaje się jednak, że największym czynnikiem przyczyniającym się do „błędu” wirtualnego dopasowania jest niedokładność kształtu tworzego przez oprogramowanie awatara. Niedokładność kształtu wirtualnego awatara w połączeniu z niedokładnym algorytmem „drapowania się” tkanin powoduje niedokładności i różnice w dopasowaniu wirtualnego ubrania, które mogą być na tyle poważne, że mogą prowadzić do błędnych wniosków i powodować złe dopasowanie dla prototypów produkcyjnych.

Lin, Johnson, Young, Kang (2018) analizują wizualizację dopasowania wybranych projektów odzieży na dwóch typach wirtualnych awatarów: spersonalizowanym (osobistym) awatarze opracowanym za pomocą technologii skanowania własnego ciała oraz zaproponowanym awatarze z danego systemu CAD. Celem tego badania była możliwość znalezienia wzorcowego powiązania. Na potrzeby tych badań przeprowadzono analizę porównawczą, gdzie celowo grupa studentów zaprojektowała pięć elementów garderoby na niestandardowym awatarze za pomocą systemu Kinect oraz na wybranym awatarze z programu komputerowego Optitex. Wyniki pokazały różnicę, ale wstępnie zaprogramowany awatar uzyskał wyższe oceny pod względem wyglądu i dopasowania. Odpowiedzi jakościowe sugerują, że wstępnie zaprogramowany awatar jest bardziej estetyczny, ale sam przeskanowany awatar wykazał dokładniejsze proporcje tułowia i bliższe rzeczywistości ułożenie materiału na ciele. Powierzchnia spersonalizowanego awatara, zwłaszcza niektóre obszary konturu postaci wymagają dopracowania. Ponadto spersonalizowany awatar przedstawiał bardziej realistyczne różnice w typach ciała i ich proporcjach. Ze względu na to, że domowe systemy skanowania ciała 3D w przystępnej cenie są ulepszane i stają się dostępne, konsumenci i projektanci mogą oczekiwać lepszego dopasowania odzieży (Lin, 2018).

Berthouzo i Garg (Berthouzo, 2013) w swoich badaniach podjęli próbę automatycznego szycia ubrań w środowisku 3D. Rysunek 35 przedstawia techniki automatycznego analizowania wykrojów, zszywania ich w trójwymiarowej przestrzeni wraz z przekształcaniem ich w modele 3D. W swoich badaniach autorki skupiają się na formach odzieżowych zapisanych w formacie PDF. Proces wirtualnego zszywania odzieży polega na wyodrębnieniu elementów odzieży takich, jak przód, tył, rękaw. W kolejnym etapie

autorki pracy szukają elementów stylizacji, tj. zaszewek, zakładerek, plis itp. Ostatnim i najważniejszym elementem procesu 3D szycia jest określenie, które elementy powinny być ze sobą zszyte. Algorytm, który został użyty to połączenie sztucznej inteligencji i programowania liczb całkowitych do wyznaczenia krawędzi szwów między elementami odzieży. System zawiera interaktywny symulator odzieży do generowania obrazu 3D modelu odzieży i układalności tkaniny na awatarze.



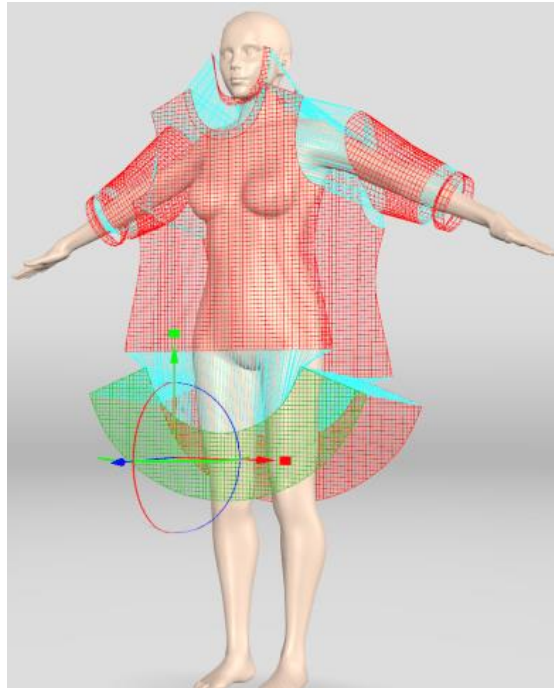
Rysunek 35. Symulacja 3D automatycznego szycia sukienki (Berthouzoz, 2013)

Metoda Berthouzoz i Garg'a, została opracowana dla burda style.de i została przebadana tylko dla jednego rozmiaru. Metodę opracowano dla elementów symetrycznych, czyli dla lewej strony ubrania. Odzież z asymetrycznymi elementami nie była testowana tą metodą.

Browzwear, oferuje funkcje VSticher, która umożliwia szycie w 3D. Moduł pracuje w opcji półautomatycznej i oprogramowanie przeznaczone jest raczej dla firm odzieżowych ze względu na cenę.

Uaktualnione wirtualne szycie w 3D, powinno być tak zaprojektowane, aby nie było ludzkiej ingerencji i wszystkie zadania, które ma wykonać, wykonuje bez jakiegokolwiek udziału człowieka. Na wirtualny proces szycia składają się kolejne kroki, tj.:

- wybór modelu odzieży – formy odzieżowe w 2D (formy odzieżowe są nazwane i ułożone według ważności),
- odpowiedni układ form odzieżowych np. tył do tyłu, przód do przodu,
- wybór parametrów tkaniny można zmieniać poprzez zmianę wartości właściwości mechanicznych tkaniny.



Rysunek 36. Opis awatara do szycia 3D

Rysunek 36 przedstawia lokalizację form odzieży na awatarze, jest to metoda półautomatyczna kontrolowana przez człowieka.

2.15 Modele matematyczne materiałów tekstylnych wykorzystywanych w programach do przeprowadzania symulacji odzieży w 3D

W obecnych czasach przymiarki odzieżowe w systemach CAD są coraz bardziej popularne i wymagane od firm zajmujących się produkcją odzieży. Ze względu na szybki i tani proces odszywania i przymierzania wzorców odzieży firmy odzieżowe coraz częściej kupują systemy CAD/CAM. Stawia to wysokie wymagania dla naukowców, inżynierów, którzy zajmują się tworzeniem systemów CAD. Przemysł odzieżowy wymaga od programów do wirtualnej przymiarki, aby symulowały przymiarki odzieży zgodnie z rzeczywistym/realistycznym modelem tej odzieży. Programy do symulacji układalności tkanin posiadają różne modele matematyczne do przeliczania układalności materiałów w 3D. Skuteczna i realistyczna symulacja przymiarki odzieży w czasie rzeczywistym jest określona poprzez komplikację obliczeniową i dokładność, jakich będą wymagać takie implementacje. Autor w tym rozdziale prezentuje ich zalety oraz wady, w szczególności sposób skupia się na analizie modelu „mass spring”. Jest to „system sprężynowy” ze względu na swoją prostotę ma znaczenie handlowe i wydajność obliczeniową.

Problem symulacji materiałów w wirtualnym środowisku sięga roku 1980, gdzie Weil w 1986 roku w swoich badaniach skupił się na metodzie modelowania geometrycznego materiału płóciennego w trzech wymiarach. Tkanina zasymulowana za pomocą tego modelu posiadała fałdy i swoją układalnością zbliżona była bardziej do realistycznego wyglądu niż ta uzyskana za pomocą zwykłego mapowania tekstur. Weil również opisał metodę renderowania tkaniny. Obliczenia powierzchni tkaniny w stanie swobodnym były wykonywane w dwóch etapach. Pierwszy etap przybliżał kształt powierzchni, której wewnątrz opisane jest względem punktów ograniczających, a drugi etap przeprowadza proces relaksacji we wszystkich punktach na powierzchni, aby uzyskać bliskie przybliżenie do jej kształtu. Renderowanie powierzchni odbywało się za pomocą modułu śledzącego promienie, który traktuje powierzchnię jako siatkę odcinków linii (Weil, 1986).

Hindsa w roku 1986 zaprojektował model projektowania interaktywnego¹ odzieży. Model ten opierał się na przesuwaniu części tkanin z wstępnie triangulowanego² torsu manekina. Fałdy i inne szczegóły zachowania się tkaniny zostały dodane ręcznie.

Kunii zastosował technikę polegającą na wstępnej symulacji tkaniny, gdzie podczas symulacji algorytm programu jednocześnie obliczając charakterystykę tkaniny, czyli: załamania i lokalizacje fałd również pozwolił na przewidywanie kolejnych kroków zachowania się tkanin podczas symulacji (ruch tkaniny w 3D). Badania Kunii zostały wykorzystane do realistycznej symulacji odzieży w 3D w czasie rzeczywistym, która powinna dokładnie modelować zachowanie materiału podczas zderzenia z jakimkolwiek przedmiotem, przy jednoczesnym zachowaniu poprawnej animacji tkaniny. W 1991 roku, Tsopelas opracował specjalną technikę renderowania³ fałd odzieży. Fragmenty odzieży traktował jako cylindryczne rurki pod obciążeniem osiowym. Deformacje były zlokalizowane tak, że obliczenia numeryczne były mniej obszerne niż pełna fizyczna symulacja tkaniny (Skorupski, 2006).

W 1990 roku wprowadzono nowe pojęcie hybrydowego modelu symulacji. Carignan w tym samym roku wprowadził model oparty na prawach fizyki, który do końca nie oddaje poprawnej symulacji ruchu tkaniny, ponieważ skupia się tylko na danych obszarach tkaniny w 3D. Zaletą tej metody jest to, że szybko generuje statyczną tkaninę i oblicza kolejne dane do symulacji materiałów. Ta dobra obliczeniowość algorytmu wiąże się ze złożonością obliczeniową, a tym samym wysokim czasem obliczeniowym. Modele fizyczne, na których jest budowana symulacja tkaniny poprzez swoją budowę i obliczenia pozwalają na bardziej realistyczne układanie się tkaniny w 3D. Modele fizyczne, zostały połączone z modelami geometrycznymi i niektóre wykorzystują układy elementów symulacji mechanicznej, jak to przedstawił Breen w 1992 i Eberhardt w 1996, podczas gdy Eishen zaproponował model elementów skończonych. Przyjęcie modeli elementów skończonych lub różnic skończonych, ma na celu osiągnięcie realizmu, a wymóg dokładności symulacji jest ważniejszy niż szybkość przeprowadzonej symulacji.

¹ Interaktywność – oznacza zdolność do wzajemnego oddziaływania na siebie, przez komunikujące się strony.

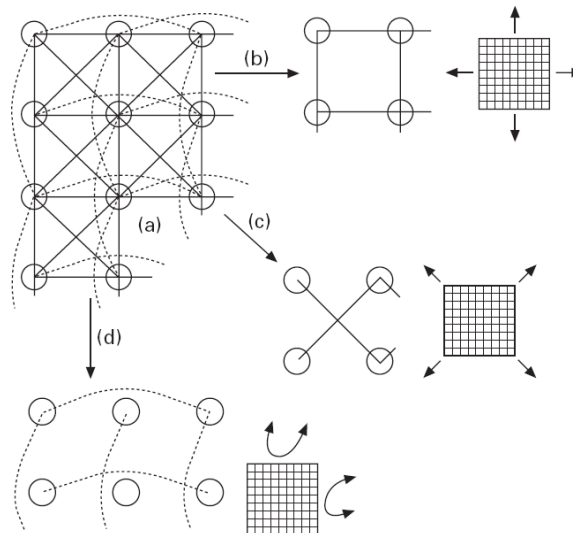
² Triangulacja – metoda wyznaczania współrzędnych punktów za pomocą układów trójkątów utworzonych przez te punkty.

³ Renderowanie – graficzne przedstawienie treści zapisanej cyfrowo w formie właściwej dla danego środowiska.

Modele elementów skończonych (MES) jest to interpretacja ciała jako zbioru elementów dyskretnych. Celem MES jest określenie przybliżenia funkcji, które spełniają warunek równowagi deformacji w równaniu opisującym interakcję między poszczególnymi elementami. Do symulacji MES używa się głównie okrągłych lub prostokątnych kształtów tkaniny, które nie mogą być wielokątami. Siatka, czyli tzw. „mesh⁴”, często jest używana do symulacji materiału tekstylnego (Kuijpers A. , 2017)

Model Układu Punktów Masy (MUPM) jest najczęściej stosowaną metodą przez grafików komputerowych, ponieważ jest ona bardzo prosta. MUPM, w którym punkty masy połączone są trzema rodzajami sprężyn, posiadają charakterystyki, rozciągania, ścinania i zginania. Biorąc pod uwagę warunki początkowe, tj. ruch modelu jest obliczany przy zastosowaniu standardowych praw Newtona (Han, 2010).

W programie Blender oraz w większości nowych systemów CAD/CAM - model symulacji układalności tkaniny na bryle zapisany jest jako „model układu punktów masy”, który charakteryzuje się pewnym zbiorem punktów masy/oczek (punktów narożnych) połączonych czterema rodzajami sprężyn.



Rysunek 37. Model Układu Punktów Masy (Han, 2010)

Rysunek 37 przedstawia typy zachowania się modelu układu punktów masy/oczek:

- a) Sprężyny, które łączą każde oczko (masę) do jego najbliższego sąsiada w poziomie i pionie, nazywane są sprężynami konstrukcyjnymi. Sprężyny te działają w płaszczyźnie (wzdłuż powierzchni) rozciągania materiału.
- b) Sprężyny ukośne w siatce, są to sprężyny ścinające; oprócz opierania się ścinaniu w płaszczyźnie również hamują rozciąganie materiału.

⁴ Mesh – siatka jest to odwzorowanie danej powierzchni obiektu za pomocą siatki wielokątów (najczęściej jest to siatka trójkątów).

- c) Sprężyny długie, które łączą punkty masy (oczka) ze sobą, przeciwdziałając ich „wypadnięciu” z płaszczyzny tkaniny podczas zginania (np. marszczenie, fałdowanie i falowanie).

Powyższy model oferuje możliwość definiowania właściwości sprężystych poprzez wprowadzenie takich parametrów jak: masa punktu, stałe rozciągania (w kierunku wątku i osnowy), zginania (w wątku i kierunku osnowy), ścinania, ściskania, tarcia i kolizji. W ten sposób, zmieniając ustawienia parametrów, można teraz symulować wiele rodzajów materiałów, w tym specjalne. Zakładamy, że tkanina o pewnych wymiarach zawiera równo rozmieszczone oczka $n \times n$ w kolumnie (j) i wierszu (i) (gdzie $0 \leq i, j < n$). Każde oczko $[i,j]$ ma następujący stan:

1. Masa m (zakładamy, że wszystkie oczka mają identyczne masy),
2. Pozycja $x_{i,j}(t)$,
3. Prędkość $v_{i,j}(t)$ co jest równe pochodnej $x_{i,j}(t)$ względem t : $v_{i,j}(t) = \dot{x}_{i,j}(t)$.

Na położenie i prędkość oczka wpływają różne rodzaje sił. W szczególności zakładając, że skumulowana siła działająca na oczko $[i,j]$ w czasie t wynosi $F_{i,j}(t)$, to druga zasada ruchu Newtona mówi nam, że przyspieszenie tego oczka w czasie t wyraża Równanie 14:

$$a_{i,j}(t) = \dot{v}_{i,j}(t) = \ddot{x}_{i,j}(t) = \frac{F_{i,j}(t)}{m} \quad (14)$$

gdzie:

- a – położenie oczka w przestrzeni 3D,
- \ddot{x} - pochodna pozycji po czasie (t),
- \dot{v} - pochodna prędkości po czasie (t),
- F – siła,
- m – masa,

Istnieją trzy rodzaje sprężyn, które łączą wszystkie oczka ze sobą, (Równanie 15, Równanie 16, Równanie 17).

1. Sprężyna związana ze strukturą: każde oczko i,j jest połączone z maksymalnie czterema oczkami strukturalnie

$$[i,j+1], [i,j-1], [i+1,j], [i-1,j] \quad (15)$$

2. Sprężyna związana ze zjawiskiem ścinania: każde oczko i, j jest połączone z maksymalnie czterema oczkami poprzez połączenia ścinające

$$[i+1,j+1], [i+1,j-1], [i-1,j-1], [i-1,j+1] \quad (16)$$

3. Sprężyna związana ze zjawiskiem zginania: każde oczko i, j jest połączone z maksymalnie czterema oczkami poprzez połączenia zginania.

$$\begin{array}{c} [i,j+2], [i,j-2], [i+2,j], \\ [i-2,j] \end{array} \quad (17)$$

Tak więc każde oczko może mieć do 12 bezpośrednio połączonych sąsiadów. Model masy sprężyny posiada kilka modułów, z którymi jest połączony i kontroluje układalność tkaniny w wirtualnej przestrzeni.

2.16 Odczyt właściwości mechanicznych materiałów i ich relacja do wirtualnej układalności odzieży podczas przymiarki 3D

“Branża odzieżowa wymaga wirtualnego narzędzia do symulacji, które będzie nie tylko zadowalało ludzkie oko, ale także przedstawi realistyczną reprezentację odzieży i dokładnie odwzoruje rzeczywiste fizyczne i mechaniczne zachowanie tkanin, aby móc wiarygodnie ocenić nowy projekt odzieży na podstawie wirtualnie obliczonego zachowania się tkaniny” (Luble, 2008).

W produkcji przemysłowej odzieży coraz częściej sięga się po symulacje wirtualne odzieży do oceny nowych produktów (odszycie prototypu) zanim zostaną one faktycznie wyprodukowane. Symulacja przymiarki odzieży nie odpowiada 100% dokładności rzeczywistej tkaniny, ponieważ nie można uwzględnić wszystkich rzeczywistych czynników wpływających na układalność danej odzieży w wirtualnej przestrzeni. Wirtualny prototyp musi zawierać jak najwięcej danych, tak by był bardzo precyzyjny i umożliwił podjęcie decyzji do zaakceptowania lub odrzucenia produktu w procesie projektowania w 3D. W przypadku form odzieżowych, wykonywanych z milimetrową dokładnością w 2D, wirtualny prototyp powinien zapewniać ten sam zakres dokładności.

Oprogramowania CAD/CAM, są to technologie, służące do przejścia z postaci dwuwymiarowej (2D) form odzieży do postaci trójwymiarowej (3D) odzieży (odzież 3D jest generowana z szablonów 2D). Możliwa jest również transformacja z 3D do 2D, gdzie wzór odzieży w postaci 3D jest „rozwijany” na płaszczyźnie. Metoda przejścia z 2D do 3D polega na ułożeniu 2D form odzieżowych w postaci 2D wokół wirtualnej postaci „awatara” i szyciu ich z uwzględnieniem charakterystyki tkaniny oraz ich właściwości mechanicznych. Przemysł tekstylny i odzieżowy potrzebuje awatarów, które są poprawnie odwzorowane i bezpośrednio powiązane z systemami CAD. Obecnie, dostawcy rozwiązań CAD, którzy specjalizowali się wyłącznie w tworzeniu form odzieżowych w 2D i ich stopniowaniu, oferują również rozwiązania 3D.

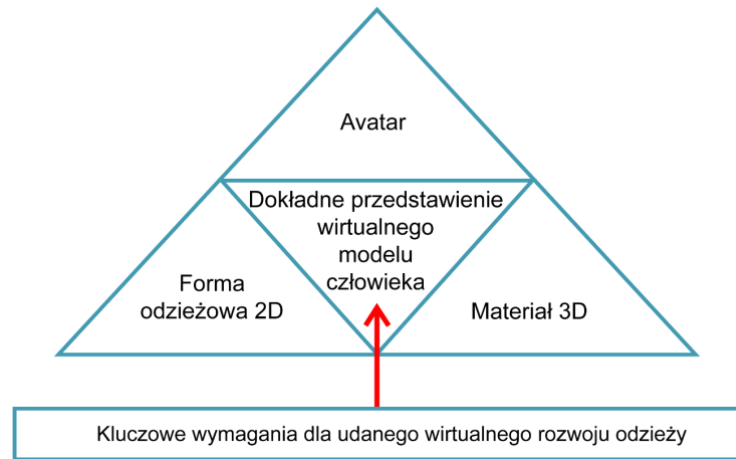
W przemyśle odzieżowym dąży się nieustannie do symulacji odzieży zbliżonej do rzeczywistego środowiska, za pomocą różnych modeli mechanicznych. Uzyskanie

wysokiej jakości symulacji odzieży wymaga uwzględnienia siły ciężkości i oddziaływania grawitacji oraz końcowej, renderowanej odzieży. Tkaniny są złożonymi materiałami poddawanyymi naprężeniu, które po usunięciu siły, stopniowo wracają do stanu spoczynku. Ich symulacja nie jest łatwa, ponieważ ich zachowanie jest trudne do opisanie. Tkaniny to materiały złożone o określonej wytrzymałości na rozciąganie. Tkaniny mogą posiadać charakterystykę sprężystą, co powoduje powrót do pierwotnego stanu po ich rozciągnięciu (model sprężysty). Dokładność symulacji wirtualnej odzieży, zależy od modelu mechanicznego systemu symulacji oraz precyzji parametrów wejściowych tkaniny, pochodzących z fizycznych i mechanicznych właściwości materiału (Kuijpers 2020).

Kuijpers (2020) stwierdził, iż występują pozytywne korelacje pomiędzy współczynnikami układalności rzeczywistej i wirtualnej dla odzieży symulowanej. Wirtualne symulacje przymiarek odzieży mogą służyć jako narzędzie do oceny formy i dopasowania odzieży przed rzeczywistą produkcją. Nowe technologie pozwalają na podejmowanie decyzji o ewentualnej zmianie wartości luzów, kształtu wykroju lub parametrów tkaniny (Lapkowska, 2018).

Programy komputerowego wspomaganie projektowania odzieży dają nie tylko możliwości przyspieszenia procesu wdrażania nowego modelu do produkcji i poprawy jakości produktów, ale także obniżenia kosztów rozwoju, kosztów materiałowych i pracochłonności. Realizacja przymiarek odzieży w 3D może odbywać się za pomocą, zaproponowanych przez producentów programów wirtualnych, manekinów lub na modelach uzyskanych podczas procesu skanowania (Lapkowska, 2018).

Zapewnienie dokładnego odwzorowania modelu odzieży/ciała człowieka w systemach CAD, czyli stworzenie awatara, który swoją budowa jest zbliżony do postaci ludzkiej np.: modelki, jest bardzo ważnym elementem, aby poprawnie przeprowadzić wirtualną przymiarke odzieży i analizę pasowności odzieży w 3D. Awatar, który swoją budową i wyglądem jest zbliżony do rzeczywistej postaci ludzkiej ułatwi wizualną ocenę akceptacji modelu odzieży przez projektanta. Natomiast precyzyjna budowa ciała awatara pozwoli na jakościową, poprawną analizę układalności tkaniny na ciele w 3D. Awatar jest odwzorowaniem postaci człowieka (modelu) reprezentującym grupę wiekową i rozmiarową (Ancutiene, 2011).



Rysunek 38. Schemat procesu tworzenia wirtualnej przymiarki odzieży (Ancutiene, 2011)

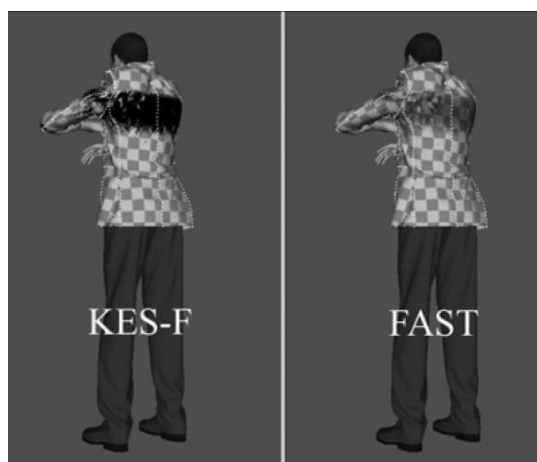
Rysunek 38 przedstawia proces tworzenia wirtualnej przymiarki odzieży, gdzie tkanina wirtualna ma ścisły związek z jakością przymiarki odzieży na awatarze. Pojęcie tkaniny wirtualnej jest szerokim zagadnieniem, ponieważ tkaniny rzeczywiste charakteryzują się anizotropowością, osnowa przeplata się z wątkiem, zauważalne są siły tarcia i siły ściskające tkaninę. Układalność tkaniny wokół ciała jest złożonym problemem, gdyż tkanina układa się na krzywiznach i opada pod wpływem własnej masy. Każdy materiał charakteryzuje się inną podatnością na formowanie. Odwzorowanie podatności na formowanie w wirtualnym środowisku jest bardzo złożonym tematem.

W rzeczywistości podatność na formowanie tkaniny ocenia się poprzez łączenie zmysłów. Oczy reagują na blask, kształt i układanie się, ręce doświadczają wrażenia dotykowych i ciężaru materiału, podczas, gdy mózg kojarzy i łączy te zmysły.

Obecnie, wirtualne przymiarki odzieży wymagane są nie tylko w branży odzieżowej, ale także wymagane przez konsumentów odzieży, gdyż sprzedaż online wzrasta bardzo szybko. Prototypowanie odzieży i wirtualne odwzorowanie układalności tkaniny na obiekcie ma kluczowe znaczenie, dla sposobu w jaki sposób konsument widzi daną odzież. W przeciągu dziesięciu lat badania układalności tkaniny na bryle 3D pojawiły się dzięki pracom Luible (2008) Lim i Istook (2011), Kim i LaBat (2013), Power (2013) oraz Ancutiene, Strazdiene i Lekeckas (2014). Powyżej wspomniane badania skupiają się na układalności tkaniny oraz zdefiniowaniu, w jaki sposób fizyczne ułożenie jest odwzorowane i reprezentowane w środowisku wirtualnym.

Luible i Magnenat – Thalmann w swoich badaniach zaproponowały porównanie dwóch systemów pomiarowych mechanicznych właściwości tekstyliów tj.: KES – FB i FAST w programie Lectra. Systemy KES – FB i FAST mierzą te podobne właściwości mechaniczne tkanin, ale posiadają inne metody pomiaru. System FAST interpretuje wyniki badań w zależności liniowej, gdzie KES – FB podaje złożone zależności. Te pomiary obu układów prowadzone są przy działaniu małych sił i obciążeń, jakim poddawane są tkaniny, podczas produkcji i użytkowania odzieży.

W zależności od programu do symulacji odzieży i jego modelu matematycznego (algorytmu), dostępnej ilości zmierzonych danych, taka matematyczna interpretacja może być liniowa w przypadku systemu FAST lub nieliniowa przy stosowaniu systemu KES – FB. Zachowanie się tkanin przy rozciąganiu jest silnie nieliniowe dla większości tekstyliów. Obecne modele obliczeniowe są w stanie zasymulować nieliniowe zachowanie się tkaniny przy rozciąganiu przy wprowadzeniu poprawnych danych wyjściowych. Otrzymane parametry liniowe z danych pomiarowych z FAST, są poprawne w obszarze małych sił. Jednak parametry liniowe są nieprawidłowe w przypadku symulacji wyższych naprężeń. Rysunek 39 przedstawia różnice w zachowaniu się materiału w środowisku wirtualnym dla KES – FB i FAST przy wysokich naprężeniach.



Rysunek 39. Symulacja koszuli męskiej w programie Lectra dla parametrów z systemu KES – FB i FAST

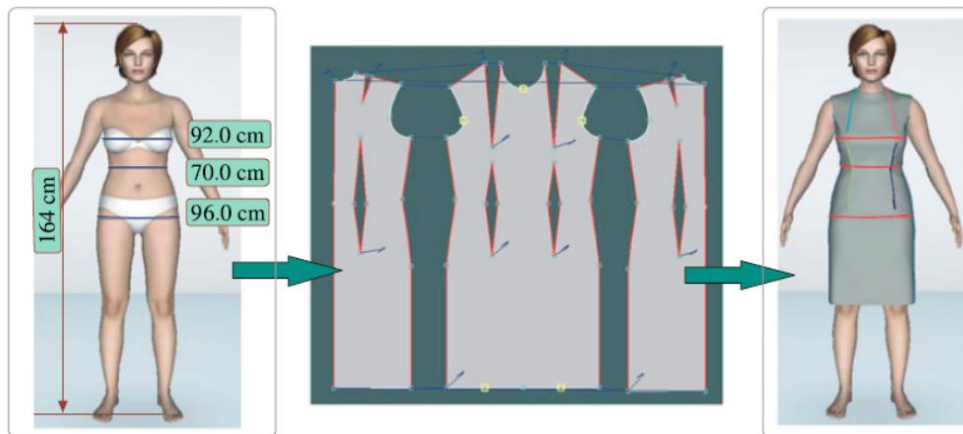
Luiblé i Magnenat – Thalmann potwierdziły, iż metoda i forma zapisywania mechanicznych właściwości tekstyliów ma znaczenie w systemach CAD do symulacji tkanin w przestrzeni wirtualnej.

Pandurangan (Pandurangan, 2008) zwraca uwagę na znaczenie wyglądu wirtualnej sylwetki, na którą odzież jest przymierzana.

Al-Gaadi, Göktepe i Halász 2012 (Kuijpers, 2014) podkreślają złożoność symulacji tkaniny, częściowo ze względu na wpływ właściwości włókien i przędzy oraz konstrukcję splotu, która ma wpływ na układalność tkaniny.

W literaturze można znaleźć wiele badań na temat układalności tkaniny na sylwetce człowieka w wirtualnym środowisku.

Ancutiene, Strazdiene i Lekeckas (Ancutiene & Strazdiene, 2013) przeanalizowały wpływ właściwości zginania, ścinania, rozciągania oraz powierzchni wpływających na estetykę wizualną odzieży. Za pomocą programu Lectra Modaris suknia była prototypowana na podstawie właściwości mechanicznych tkaniny mierzonych za pomocą systemu KES – FB. Rysunek 40 przedstawia prototyp sukni.



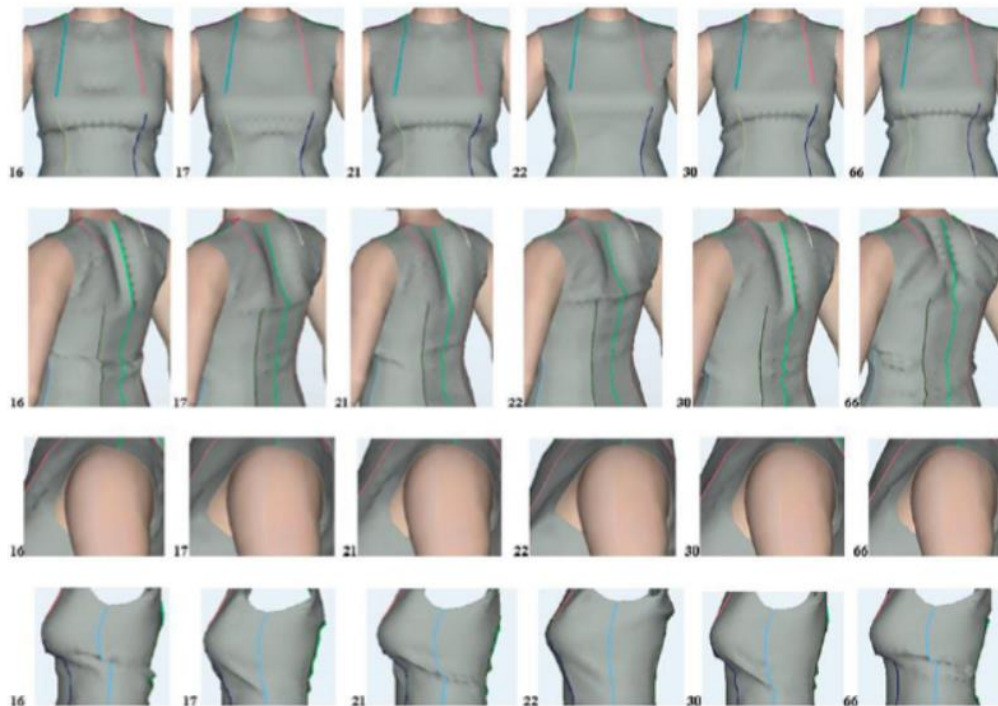
Rysunek 40. Awatar z programu Lectra z wymienionymi pozycjami klatki piersiowej, tali i bioder, forma sukienki w 2D i symulacja przymiarki 3D (Ancutiene & Strazdiene, 2013)

W symulacji 3D zastosowano tkaniny składające się w większości z bawełny. Tabela 3 prezentuje zestaw tkanin poddanych badaniom.

Tabela 3. Zestaw tkanin zastosowanych w badaniu i ich skład procentowy

Kod tkaniny	Skład tkaniny %
16	100% bawełna
17	99% bawełna, 1% elastan
21	93% bawełna, 7% akrylowa
22	91% bawełna, 8% PAM, 1% elastan
30	100% bawełna
66	70% bawełna, 30% poliester

Panel ekspertów ocenił „jakość wizualną” górnej części sukienek. Ponadto przeanalizowano mapy deformacji i ściskania siatki (mesh) wokół obszaru klatki piersiowej i tyłu (Rysunek 41), które porównano ze skalami ocen. Odkryto, że dla tkanin 22 i 17 zawierających Elastan występuje wysoki poziom rozciągania w kierunku wątku.



Rysunek 41. Widok sukienki z przodu, tyłu, pachy i boku wraz z numerami kodów tkaniny (Ancutiene & Strazdiene, 2013)

Ancutiene i Sinkeviciutez w swoich badaniach przedstawiają związek pomiędzy wirtualnym dopasowaniem odzieży a mechanicznymi właściwościami tkanin na rozciąganie, ściskanie, zginanie, ścinanie i czynnikami strukturalnymi (skład, grubość, masa powierzchniowa), kształtujące rozkład naprężeń tkaniny w odzieży. Stwierdzono, że dla odzieży o splocie skośnym największy wpływ na dopasowanie odzieży ma wartość energii rozciągania tkaniny. W związku z tym, przedstawiona metoda może być zastosowana dla odzieży dopasowanej, a także dla odzieży o standardowych luzach w celu zbadania czy tkanina została prawidłowo dobrana do danej odzieży. Udowodniono, że wirtualna układalność odzieży kształtuje się inaczej na ludzkim ciele w zależności od rodzaju tkaniny.

Określono, że dla form skrojonych pod kątem 45 stopni największy wpływ na układalność tkaniny ($r = 0,61 - 0,85$) mają właściwości na rozciąganie tkaniny.

Sztywność ścinania w kierunku wątku wpływa na równowagę odzieży, szczególnie w obszarze bioder, rozpatrując formę skrojoną pod kątem 45 stopni, jednak zależność ta jest mniejsza pod kątem prostym ($r = 0,59 - 0,75$).

Tak więc prezentowana metoda może być stosowana nie tylko dla: odzieży z tkanin bez możliwości rozciągania, ale także dla odzieży ściśle dopasowanej. Równie ważne jest określenie kierunków badań w przestrzeni trójwymiarowej, gdzie zachodzi symulacja przymiarki odzieży.

Wu, Mok, Kwok, Fan i Xin (2011) w swoich badaniach porównują rzeczywistą przymiarke odzieży do wirtualnej, ponieważ zostało stwierdzone, iż programy CAD/CAM nie odwzorowują rzeczywistej układalności tkaniny w wirtualnym środowisku. W sumie testowanych było 20 rodzajów tkanin. W badaniach brano pod uwagę tylko wyniki z systemu FAST, ponieważ systemy FAST są bardziej niezawodne, tańsze i prostsze w działaniu w porównaniu z systemem KES-FB. Badania wykazały, że w niektórych obszarach, np. na linii bioder, istnieje powtarzalny błąd. Również dla niektórych konkretnych tkanin odzieżowych wyniki symulacji 3D znacznie różnią się od rzeczywistych (Wu, 2011).

2.17 Podsumowanie i wnioski z przeglądu literatury

Przemysł odzieżowy jest ściśle związany z produkcją odzieży na skalę masową. W ostatnim dwudziestolecu proces wytwarzania odzieży jest ściśle monitorowany przez różne światowe organizacje ochrony środowiska. Wymaga się od zakładów produkujących odzież lub/i zakładów produkujących materiały, aby szukały nowych rozwiązań, które są przyjazne dla środowiska.

Przedmiotem badań wielu odzieżowników jest odszywanie wzorców danego modelu projektowego, gdzie wskazuje się, iż dla jednego projektu modelu odzieży mogą być odszyte nawet trzy wzorce. Są to czynności bardzo czasochłonne, materiałochłonne i kosztowne, a tym samym niesprzyjające środowisku naturalnemu. W związku z powyższym Autor rozprawy skupia się na minimalizacji ilości odszywanych wzorców odzieży do przymiarki. W poszukiwaniu rozwiązania powyższego problemu wskazuje wiele rozwiązań, a w odniesieniu do aspektu oszczędności czasu, materiałów, a także ochrony środowiska wskazuje rozwiązanie, w którym wszystkie przymiarki odzieży są wykonywane w przestrzeni 3D za pomocą programów CAD/CAM.

Na efektywną i bardzo dokładną przymiarke w środowisku wirtualnym składa się wiele czynników, do których zaliczyć możemy:

1. poprawne odwzorowanie modelu sylwetki, na którą dana odzież jest szyta (zgodnie z antropometrią odzieżową);
2. dokładny odczyt układalności tkaniny w przestrzeni 3D (ilość fałd oraz kąty załamania tkaniny na sylwetce powinny być takie same, jak w środowisku rzeczywistym);
3. automatyzację procesu szycia w wirtualnej przestrzeni (szybkie i bez wymagań znajomości programu odszycie wzorów odzieżowych).

Na decyzję wyboru odzieży przez użytkownika ma wpływ wiele czynników, np. określony moment, czy też samopoczucie osoby dokonującej przymiarki lub zakupu. Tak więc poczucie, że odzież dla danego użytkownika jest odpowiednia lub dobrze dopasowana to pojęcie subiektywne. Dlatego też dla technologów odzieżowych temat prawidłowej

przymiarki i ułożenia odzieży na sylwetce jest trudnym zagadnieniem, ponieważ należy rozwiązać problemy związane z chwytem tkaniny i jej podatnością na formowanie.

Następnie, w wyniku powyższych rozważań Autor wyjaśnia pojęcia komfortu użytkowego odzieży i układalności na powierzchni sylwetki. Analizuje silną korelację pomiędzy układalnością tkaniny, a jej sztywnością zginania. Sztywność zginania płaskich wyrobów włókienniczych określana jest zależnościami Peirce'a, na podstawie których wyznaczana jest długość gięcia c pod wpływem masy powierzchniowej.

Rozciąganie płaskich wyrobów włókienniczych to kolejne badanie, które jest analizowane pod względem układności tkaniny na sylwetce i wpływa na zdolność do formowania się tkanin. Należy zwrócić uwagę na fakt, że czynnik ten często jest pomijany w systemach CAD, a ma znaczenie przy określaniu podatności tkaniny na formowanie.

Sztywność postaciowa polega na równoległym przyłożeniu siły do tkaniny, aż do osiągnięcia maksymalnego kąta przesunięcia; jest to iloraz siły ścinania do kąta ścinania.

Programy 3D służą do projektowania i konstrukcji form odzieżowych. W pierwszym etapie następuje wykreślenie formy w 2D, czyli dwuwymiarowych szablonów, a w kolejnym etapie zszycie form odzieżowych i stworzenie obiektu 3D w postaci finalnej, czyli odzieży. W tym procesie są wykorzystywane programy CAD/CAM, które posiadają moduły do symulacji wirtualnej przymiarki odzieży oraz analizy układalności tkaniny w odzieży na ciele awatara. Podstawowymi parametrami, jakimi posługują się takie programy, to sztywność zginania, moduł rozciągania, masa powierzchniowa tkaniny, sztywność ścinania i odczyt chropowatości powierzchniowej tkaniny. W programach CAD te współczynniki umożliwiają przeprowadzanie symulacji wirtualnej przymiarki odzieży oceniając układalność tkaniny.

Udoskonalanie programów CAD/CAM umożliwia dokładniejszą i szybszą symulację przymiarki odzieży w 3D. Rozwój prac na temat podatności do formowania tkanin w wirtualnej przestrzeni pozwala na wizualną poprawę wyglądu tkanin i ich układalności z wykorzystaniem rzeczywistych mechanicznych właściwości płaskich wyrobów włókienniczych.

3 Część empiryczna

W części empirycznej Autor rozprawy doktorskiej koncentruje się na przedstawieniu i opisanu metodyki realizacji badań. Etapy badań podzielone są na zadania, które opisano szczegółowo w poniższym rozdziale. W metodyce pracy doktorskiej wykorzystano umiejętności obsługi przyrządów systemu KES-FB, wiedzę na temat odzieży związaną z konstrukcją form bluzki podstawowej, konfekcjonowaniem odzieży, oraz wiedzę matematyczną i umiejętność programowania z użyciem języków Python oraz C++.

Rozdział rozpoczyna się od opisu konstrukcji bluzki podstawowej, budowy zeskanowanego manekina (awatara), metod badania tkanin z wykorzystaniem systemu KES-FB.

Kolejnym etapem jest realizacja automatycznego zszywania w 3D.

Ostatni etap to omówienie zagadnienia podatności na formowanie a następnie wprowadzenia go do programu Blender. Pokazane są tam zrealizowane wirtualne przymiarki odzieży przy użyciu nowych, zaproponowanych przez Autora współczynników podatności na formowanie, dodatkowo proces wirtualnego zszywania został zautomatyzowany. Na zakończenie przeprowadzono analizę porównawczą:

- a) skanu bluzki damskiej na manekinie – wzorzec,
- b) wirtualnych bluzek (jednakowe formy odzieżowe) na awatarze z wykorzystaniem programu Blender,
- c) wirtualnych przymiarek bluzek, z wykorzystaniem programu Blender, w którym stosowany wirtualny model tkaniny uwzględnia wprowadzenie nowych współczynników podatności na formowanie.

3.1 Zakres pracy doświadczalnej

Zakres pracy przy opracowywaniu wskaźnika pasowności odzieży do sylwetki obejmował następujące zadania:

1. Konstrukcja i odszycie 3 bluzek na podstawie tych samych form z 3 wybranych materiałów.
2. Skanowanie manekina odzianego w odszytą bluzkę oraz nagiego manekina w celu wyznaczenia wartości luzów w obszarach klatki piersiowej, talii i bioder (Wu, 2011). (Załącznik nr 1)
3. Badanie mechanicznych właściwości materiałów przy użyciu przyrządów systemu KES-FB oraz wprowadzenie parametrów do systemu CAD - Blender (Behery, 2006) (Frydrych, 2018).

4. Zaproponowanie współczynników podatności na formowanie według zaproponowanych wzorów.
5. Realizacja wirtualnych przymiarek bluzek w programie Blender,
6. Wprowadzenie do programu Blender różnych modeli tkanin wirtualnych z uwzględnieniem współczynników podatności na formowanie.
7. Realizacja wirtualnych przymiarek bluzek w programie Blender przy użyciu różnych modeli tkanin wirtualnych z uwzględnieniem współczynnika podatności na formowanie.
8. Porównanie układalności zeskanowanych rzeczywistych bluzek z układalnością bluzek wirtualnych (ich przekrojów poprzecznych Załącznik 2, 3, 4) przy użyciu programu Blender (model wirtualnej tkaniny bez współczynnika podatności na formowanie) oraz zmodyfikowanych przez Autora wersji programu Blender zawierających nowe modele z użyciem współczynników podatności na formowanie.
9. Wyznaczenie różnic pomiędzy przedstawionymi powyżej wariantami, przy użyciu metody przekrojów poprzecznych tj.: przekrój poprzeczny na wysokości klatki piersiowej (PPKP) przekrój poprzeczny na wysokości tali (PPT) i przekrój poprzeczny na wysokości bioder (PPB).
10. Analiza wyników wirtualnych przymiarek bluzek dla każdego rodzaju przekroju poprzecznego bluzki z jednoczesnym przyporządkowaniem optymalnego, ze względu na układalność odzieży, wariantu modelu wirtualnego tkaniny w programie BLENDER (zawierającego bądź nie - podany współczynnik podatności na formowanie).
11. Ocena wpływu zastosowania współczynnika podatności na formowanie w wirtualnych przymiarkach odzieży i poziomu jego znaczenia w dopasowaniu się odzieży do sylwetki awatara.

Aby lepiej zrozumieć znaczenie mechanicznych właściwości płaskich wyrobów włókienniczych do badań zostały zastosowane tkaniny „bluzkowe” o różnych parametrach. W pracy Autor wziął pod uwagę trzy różne rodzaje tkanin zróżnicowane pod względem masy powierzchniowej, rodzaju włókien, sposobu wykończenia i splotu tkaniny. Dla takich tkanin będą wyznaczone wszystkie parametry mechaniczne przy zastosowaniu Kawabata Evaluation System for Fabric (Zhang, 2014).

- Ad 1. Odszyto trzy bluzki wykonane ze standardu formy podstawowej bluzki, które zostały opracowane na podstawie konstrukcji Parafianowicza (Parafianowicz, 1997). Forma bluzki posiada jednoczęściowy przód i tył oraz jednoczęściowy długi rękaw. W bluzce nie uwzględniono kołnierza ani mankietów ze względu na istotę rozważań związanych z bryłą ciała i dopasowanie wyrobu odzieżowego do ciała, biorąc pod uwagę górną część ciała człowieka. Bluzki wymodelowano dla manekina o rozmiarze 40.
- Ad 2. Zeskanowano manekina przy użyciu skanera TC² w wariantcie: bez odzieży i z odzieżą okrywającą górną część ciała manekina dla trzech opisanych bluzek wykonanych z użyciem zróżnicowanych materiałów.

- Ad 3. Przeprowadzono analizę dopasowania odzieży wirtualnej i odzieży rzeczywistej. Przy użyciu programu Blender zostały wprowadzone algorytmy z nowymi współczynnikami podatności na formowanie przy użyciu języka C++ i języka C dla współczynnika F_{KES} . Programy Blender z nowymi algorytmami do określenia podatności na formowanie pozwoliły na ponowną symulacje bluzek. Dla każdego nowego algorytmu budowany jest nowy program Blender.
- Ad 4. Do symulacji bluzek użyto parametrów uzyskanych z systemu KES-FB dla sztywności zginania, energii rozciągania, sztywności skręcania i energii ściskania. Po wprowadzeniu wartości z systemu KES-FB, program Blender przeliczał symulacje około 30 sekund, co jest średnią prędkością dla symulowania układalności materiałów w programach 3D.
- Ad 5. Po każdej symulacji Autor wygenerował awatara wraz z bluzką w formacie OBJ, który pozwolił na łatwe odtworzenie obrazu 3D w programie GeoMagicDesign X do dalszej analizy. Program GeoMagic Design X pozwolił na wygenerowanie przekrojów poprzecznych awatara wraz z bluzką poprzez użycie płaszczyzny czołowej dzieląc ciało awatara na przód i tył oraz płaszczyzny strzałkowej, która dzieli ciało na stronę lewą i prawą, skrzyżowanie tych dwóch płaszczyzn wyznacza oś środka ciała. Autor również użył płaszczyzny poprzecznej (talia), która pozwoliła na „przecięcie” ciała na wysokości linii przekroju poprzecznego klatki piersiowej i bioder.
- Ad 6. Po wyznaczeniu przekrojów poprzecznych dla każdego wariantu bluzki - wzorca, bluzki zasymulowanej przez oryginalne oprogramowanie Blender oraz bluzki dla każdego współczynnika podatności na formowanie wyznaczono odcinki od środka przekroju poprzecznego kolejno w odległości co 45° , tworząc tzw. zbiór „8 promieni” - 8 odcinków. Każdy odcinek jest prowadzony od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki. Odcinki te pozwolą na zbadanie odległości i porównaniu ich z analogicznymi odcinkami wzorca (skan bluzki)
- Ad 7. Każdy odcinek w przekroju poprzecznym został wyznaczony przy użyciu programu GeoMagic Design X w milimetrach z dokładnością do dwóch liczb po przecinku. Długości odcinków zebrano w tabelach odpowiednio dla każdej tkaniny w rozpatrywanych wariantach (bez współczynnika podatności na formowanie lub z zaproponowanymi współczynnikami).
- Ad 8. Analiza statystyczna wyników skupia się na zbadaniu korelacji jakie zachodzą między długościami omawianych odcinków kolejno przyrównując do wzorca (skanu bluzki). Analiza ta pozwala na zbadanie, jak zbliżona jest układalność tkaniny przy użyciu programu 3D bez lub z zastosowanymi współczynnikami podatności na formowanie do rzeczywistej układalności tkaniny na manekinie. Analiza porównawcza to zestawienie wszystkich przekrojów poprzecznych i zbadanie kształtów konturów bluzek z symulacji oraz odniesienie ich do wzorca (skanu). Trzecia analiza, którą zastosował Autor to analiza różnic długości odcinków wzorca i długości odcinków z symulacji, jako różnica bezwzględna. Różnica długości odcinków bliska lub równa zero mówi o zbliżonej układalności tkaniny z symulacji do rzeczywistej.

Ad 9. Ocena wpływu zastosowania współczynnika podatności na formowanie w wirtualnych przymiarkach odzieży i poziomu jego znaczenia w dopasowaniu się odzieży do sylwetki awatara pozwala sformułować wnioski na podstawie analizy statystycznej i porównawczej, odnośnie użytego programu Blender i dokładności symulacji z wykorzystaniem współczynników podatności na formowanie. Autor zastosował trzy współczynniki, stopniując złożoność użytych modeli. Modele proste i złożone pozwoliły na sprawdzenie szybkości symulacji, co jest ważnym czynnikiem w tworzeniu symulacji w 3D i jej dokładności, która ma odwzorowywać układalność tkaniny, jaka występuje rzeczywistości (na manekinie).

W pracy podjęto również proces budowy awatara zbliżonego do rzeczywistego celem poprawy odwzorowania sylwetki człowieka w 3D. Opracowano to, omawiając sposób wykorzystania skanera 3D oraz systemu CAD. Współczynniki podatności na formowanie tkanin stosowane w programach do wirtualnej przymiarki nie pozwalają zobrazować realnego wizerunku odzieży na ciele. Przeprowadzone doświadczenie wprowadza nowe pojęcie w środowisko wirtualne, jakim jest współczynnik podatności na formowanie. Autor bada zależności, jakie zachodzą między układalnością tkaniny w środowisku rzeczywistym, a podatnością na formowanie w środowisku wirtualnym. Zaproponowane współczynniki podatności na formowanie wpływają znacząco na układalność tkaniny, co w dalszej części rozprawy zostało udowodnione poprzez analizę wyników.

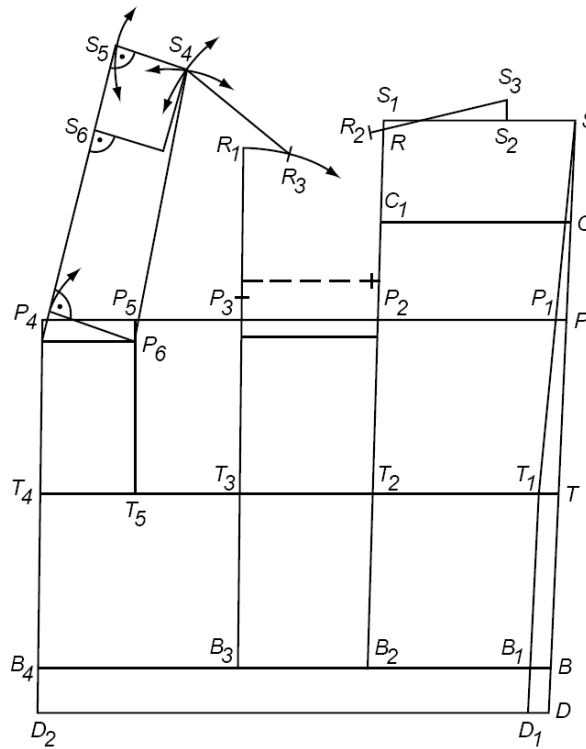
3.2 Opis formy odzieżowej zastosowanej w badaniu

Badania prowadzono dla górnej części ciała sylwetki kobiecej, z zastosowaniem podstawowej formy bluzki damskiej. Budowę siatki konstrukcyjnej oparto na wymiarach manekina odzieżowego zbudowanego przez firmę Alvanon, którego wymiary są wyznaczone na podstawie pomiarów antropometrycznych i układu śladów płaszczyzny ciała. Ślady te, w postaci linii ciała przechodzą przez punkty pomiarowe i zostały przeniesione na płaszczyznę. W rozprawie wykorzystano podstawową metodę konstrukcji bluzki Parafianowicza.

Budowę siatki konstrukcyjnej bluzki przedstawia Rysunek 42. Konstrukcja tyłu i przodu bluzki damskiej rozpoczyna podział ciała na płaszczyzny tzw.:

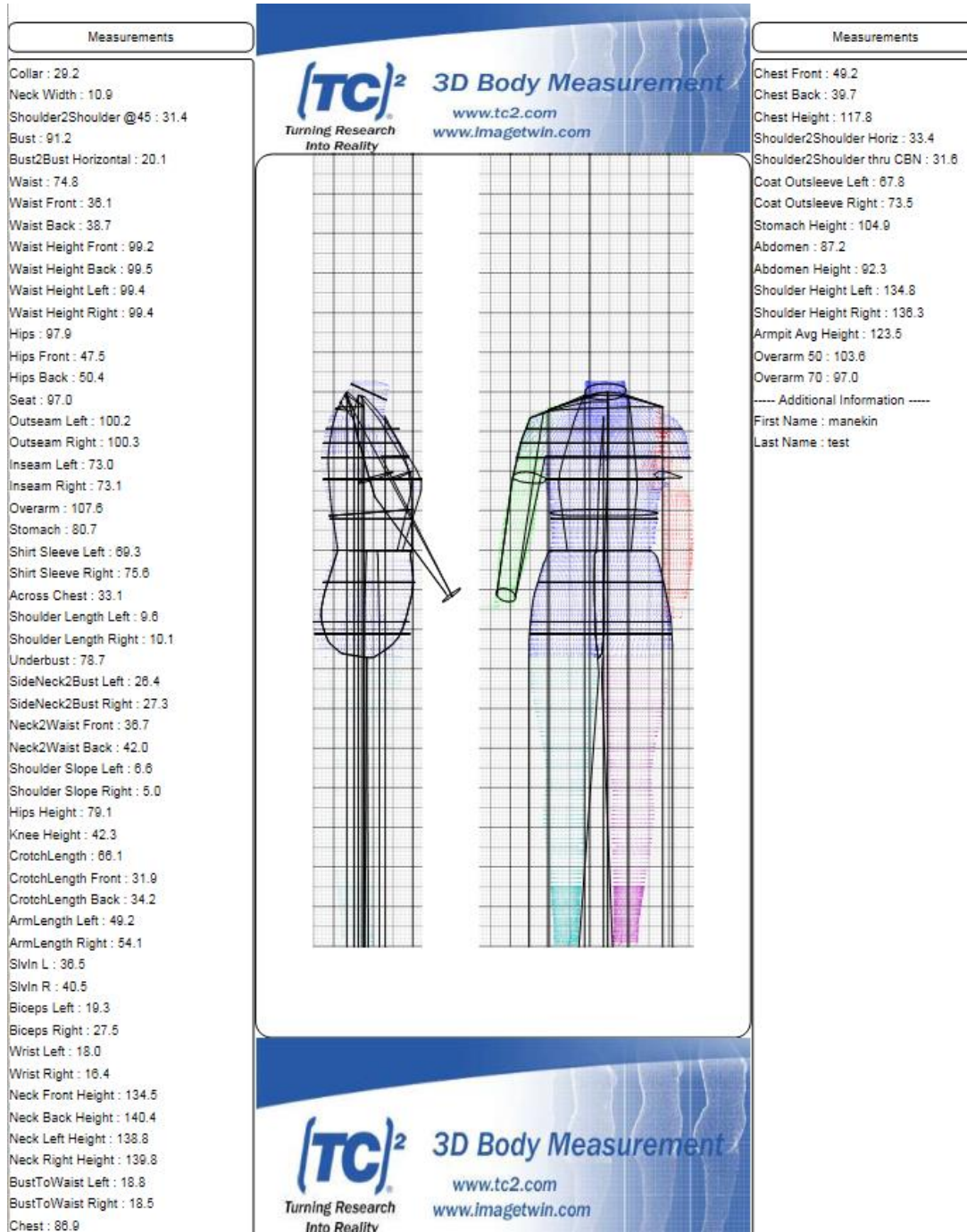
- strzałkową, dzielącą ciało na część prawą i lewą,
- czołową, dzielącą ciało na część przednią i tylną,
- poprzeczną, dzielącą ciało na część górną i dolną (Wiszomirska, 2009),

Symetryczny podział ciała ludzkiego za pomocą płaszczyzny strzałkowej pozwala na zbudowanie siatki konstrukcyjnej dla połowy figury ludzkiej.



Rysunek 42. Konstrukcja tyłu i przodu bluzki damskiej (Parafianowicz, 1995)

Wymiary konstrukcji siatki bluzki damskiej uzyskano skanując w/w manekina za pomocą skanera TC². Wymiary zeskanowanego manekina firmy Alvanon zapisano w formacie xps (Rysunek 43).



Rysunek 43. Wymiary manekina Alvanon w rozmiarze 40

Tabela 4 przedstawia wykaz podstawowych wymiarów wymaganych do konstrukcji standardu bluzki podstawowej, damskiej.

Tabela 4. Podstawowe wymiary manekina Alvanon w rozmiarze 40

Punkty	Nazwa i pozycja punktów na sylwetce	Wynik [cm]
Zwo	wzrost	168,0
opx	obwód klatki piersiowej	91,2
ot	obwód talii	74,8
obt	obwód bioder	97,9
os	obwód szyi	29,2
XcXc	łuk szerokości tyłu na wysokości piersi	39,7
PcPl	szerokość pachy	11,0
XIXI	łuk szerokości przodu przez piersi	49,2
SyTy	łuk długości pleców	42,0
SySvXp	łuk długości przodu do piersi	37,7
SySvXpTp	łuk długości przodu przez piersi	42,1
RvNv	Łuk długości kończyny górnej	54,1

Na podstawie wymiarów manekina (Tabela 4) wyliczono kolejno punkty konstrukcyjne siatki form odzieżowych podstawowej bluzki damskiej.

Budowę siatki konstrukcyjnej na górną część ciała (bluzka) przedstawia Tabela 5.

Tabela 5. Budowa siatki form podstawowych bluzki dla manekina Alvanon

Punkty	Metodyka wyznaczania punktów	Wynik [cm]
S	Prawy górny róg.	0
SD	Od punktu S w dół zaznaczono pionowo odcinek SD, przy czym punkt D wyznacza linię dołu siatki bluzki.	62,0
SP	W dół od punktu S zaznaczono punkt P w ten sposób, że podstawiono do wzoru otrzymane wcześniej ze skanowania wymiary manekina: $1/15 ZWo$ (wzrost) + $1/10 opx$ (obwód klatki piersiowej) + 0,5 (wielkość stała) podstawiając do wzoru dane przykładowe: czyli punkt P będzie oddalony od punktu S o 20,82 cm w dół na narysowanym odcinku SD. Otrzymujemy odcinek SP.	20,8
C	Wyznaczono położenie punktu C na tym samym odcinku SD. Punkt C znajduje się w połowie odcinka SP.	10,0

T	Punkt T to miara manekina, która jest odcinkiem SyTy (łuk długości tyłu do talii) uzyskanym ze skanowania. Otrzymano odcinek tej długości od punktu S. Od otrzymanych punktów S, C, P, T oraz D wyrysowano proste prostopadłe do odcinka SD	42,0
T1	Na półprostej prostopadłej wychodzącej z punktu T odmierzone odcinek o długości 2 cm (wielkość stała, ale zależna od budowy sylwetki, więc przy szyciu może się okazać, że trzeba lekko poprawić konstrukcję w tym miejscu). Punkt T1 to punkt wcięcia na linii talii.	2,0
P i P1	Z punktu S poprowadzono prostą w dół aż do punktu T1 (krzywa). Odcinek ST1 staje się linią środka tyłu. Z przecięcia odcinka ST1 z półprostą wychodzącą z punktu P otrzymano punkt P1 (punkt przecięcia tych dwóch prostych).	
P2	Punkt P2 określono w ten sposób, że z punktu P1 odłożono w lewą stronę odcinek o długości otrzymanej ze wzoru: $1/8 \text{ opx} + 5 + dk$ (dodatek konstrukcyjny, w przypadku bluzki i sukienki wynoszący 1 cm – jeśli chcemy otrzymać mocno dopasowaną odzież należy dodatek konstrukcyjny pominąć).	17,4
P3	Z punktu P2 zaznaczono w lewą stronę wartość otrzymaną ze wzoru: $1/8 \text{ opx} - 1 + dk$ (1 cm) – dodatek konstrukcyjny można pominąć przy odzieży mocno dopasowanej, czyli przy danych przykładowych.	12,5
P4	Z punktu P3 w lewą stronę zaznaczono odcinek o długości otrzymanej ze wzoru: $1/4 \text{ opx} - 4 + dk$ (1 cm - 0,5cm).	19,8
	Poszczególne odcinki P1P2 + P2P3 + P3P4 powinny dać długość równą: $1/2 \text{ opx} + dk$ (3 cm).	48,6
S1, C1, T2, B2	Przez punkt P2 wyrysowano w dół i w górę prostą pionową równoległą do odcinka SD.	
T3 i B3	Przez Punkt P3 wykreślono prostą pionową w dół aż do półprostej z punktu D i w górę aż do półprostej S.	
Linia przodu	Z punktu P4 w dół aż do półprostej B wyznaczono odcinek równoległy do SD.	
P5	Na prawo od punktu P4, pomiędzy punktami P3 a P4 wyznaczono punkt P5 w taki sposób, aby odcinek P4P5 miał długość otrzymaną ze wzoru: $1/10 \text{ opx} + dk$ (0,5 cm)	9,6

T5	Z punktu P5 wykreślono w dół do prostej T odcinek pionowy, równoległy do P4B4 oraz do odcinka SD.	
P6	Z punktu T5 odmierzone w górę wzdłuż odcinka T5P5 wartość według wzoru: $SySvXpTp - SySvXp$,	
P7	Z punktu P6 w lewą stronę wyznaczono półprostą prostopadłą do odcinka P5T5 i tym samym równoległą do prostej T. Na przecięciu tej półprostej oraz odcinka P4T4 powstaje punkt P7.	
SS2	Na prostej poziomej wychodzącej z punktu S odłożono w lewą stronę od punktu S punkt S2 i obliczono wg wzoru: $1/5 os (obwód szyi) - 0.2 + dk (0)$; W powyższej konstrukcji punkt S2 jest oddalony o 5.64 cm na lewo od punktu S.	8,4
S3	Z punktu S2 w górę pionowo wykreślono odcinek o długości 2 cm (wartość stała).	2,0
R	Z punktu S1 odmierzone w dół pionowo 1 cm (wartość stała).	1,0
R3	Z punktu S3 przez punkt R poprowadzono półprostą (musi wystawać poza pkt R) będącą długością ramienia w tyle bluzki.	14,5
S3R2	Z punktu R po otrzymanej linii skośnej, dodano 1 cm w lewą stronę. Otrzymano punkt R2. Odcinek S3R2 to linia ramienia w tyle bluzki.	1,0
P2R i P3R1	Przy pomocy miary krawieckiej określono odcinek P2R. Od otrzymanego wyniku odjęto 2 cm i otrzymano tym samym długość odcinka P3R1. Punkt R1 zaznaczono na prostej P3T3B3, od punktu P3 w górę.	
Łuk A	Aby odmierzyć długość P3R1 użyto cyrkiel. Wbijając nóżkę cyrkla w punkt P3 wykreślono na prawo od punktu R1 łuk	
R3	Kolejno wyliczono punkt R3, $1/20 opx$ i po łuku A odmierzone długość 4.56 cm od punktu R1 miarą krawiecką, i wyznaczono punkt R3.	4,6
Łuk B	Od odcinka S3R2 (linia ramienia w tyle bluzki) odjęto 0.7 cm. i wynik odmierzone jako długość cyrklem. Z punkt R3 (na łuku A) zakreślono cyrklem łuk na lewo od punktu R3 oraz ponad prostą S.	
S4	Punkt S4 wyznaczono na potrzeby do wykreślenia linii ramienia w przodzie bluzki. W tym celu obliczono ze wzoru długość odcinka P6S4: $SySvXp - (SS2 + 0,5) + dk (0)$.	29,8

	Następnie z punktu P6 wykreślono cyrklem łuk o długości odcinka P6S4, z punktu P6. Na przecięciu się tego łuku z wyznaczono wcześniej łukiem B otrzymano punkt S4.	
S4R3	Połączono punkty S4 i R3, w ten sposób powstał odcinek S4R3, który wyznacza linię ramienia w przodzie bluzki.	
	Punkty S5 oraz P8 wyliczono i wyznaczono poprzez:	
	zakreślenie z punktu S4 cyrklem łuk o długości $SS2 + 0.3$ cm i wyznaczenie punktu C.	8,7
	odmierzone cyrklem długość odcinka P6P7 i następnie z punktu P6 zakreślono łuk o długości odcinka P6P7, wbijając nóżkę cyrkla w punkt P6, na lewo od punktu P6 (wykreślono łuk D),	9,5
	Wyznaczono za pomocą linijki prostą styczną do łuku C oraz łuku D (prosta opierająca się na obydwu łukach w ich najbardziej wypukłych punktach) i rysujemy ją dosyć długą.	
	zakreślono odcinek prostopadły do wyrysowanej stycznej oraz kończący się w punkcie P6. Początek tego odcinka na stycznej do łuku D to punkt P8,	
	Odcinek prostopadły do wyrysowanej wcześniej stycznej i kończący się w punkcie P4. Punkt początkowy tego odcinka na stycznej, to punkt S5.	
S6	Po otrzymaniu punktu S5 mierzony jest odcinek S4S5, a następnie dodany 1 cm. Odmierzono długość na stycznej, w dół od punktu S5.	6,0
Podkrój szyi	Z punktu S6 wykreślona półprostą prostopadłą do stycznej, na prawą stronę od stycznej.	
	Z wyrysowanych prostopadłych otrzymano prostokąt, który posłużą do wyrysowania podkroju szyi przodu bluzki.	
P9	Z punktów P3 oraz P2 (w części pachy) zaznaczono punkty po 1 cm w dół pionowo. Powstałe punkty P9 leżący 1 cm niżej niż P2 oraz P10 – 1 cm niżej niż P3 poprzez połączenie punktów, powstaje odcinek P9P10 jako linia do wyrysowania dołu podkroju pachy.	1,0
P11	W górę od punktu P9 wyznaczono punkt P11 obliczając jego odległość od P9 ze wzoru: $\frac{1}{4} P9R + 0,5$. Zaznaczamy punkt P11 na prostej S1RP2T2B2 w górę od T9, w otrzymanej ze wzoru odległości.	

P12	Na lewo od punktu P11 w odległości 0,5 cm odmierzone i zaznaczono punkt P12.	0,5
P13	Z punktu P10 odmierzone odcinek krótszy o 2 cm niż odcinek P9P11. Zaznaczamy go w górę od punktu P10 na prostej P3T3B3. Otrzymujemy punkt P13.	
P16	Na odcinku P9P10 oznaczono punkt P16 w taki sposób, że podzielono odcinek P9P10 na pół a następnie otrzymano punkt przesuwamy o 1 cm w stronę punktu P10 (w lewo), czyli $P10P16 = \frac{1}{2} P10P9 - 1$	
T9 i B5	Z punktu P16 zakreślono pionowo w dół odcinek do prostej B. Na przecięciu tego odcinka z półprostymi T oraz B powstają punkty T9 oraz B5.	
T11	Od punktu T9 odmierzano 1 cm w górę pionowo i oznaczono punkt T11 a następnie odmierzone odcinek o długości 2 cm równoległy do półprostej T, przy czym punkt T11, stanowi środek tego odcinka. Czyli dodano 1 cm po lewej stronie T11 (punkt Z2) oraz 1 cm po prawej stronie T11 (punkt Z3).	1,0
B6 i B7	Punkty Z2 oraz Z3 złączono odcinkami z punktem P16 otrzymując boki przodu i tyłu bluzki. Następnie przedłużono je do półprostej B, otrzymując z przecięcia się odcinków i półprostej punkty B6 oraz B7.	
P6	Z punktu P6 odmierzone w dół odcinek	3,0
Z i Z1	Z punktu T5 odmierzone po 1,5 cm na lewo i prawo w poziomie. Powstają w ten sposób punkty Z oraz Z1.	1,5
Zaszewki na przodzie bluzki	Punkty Z oraz Z1 złączono z odcinkami z wcześniej zaznaczonymi końcami odcinka 3-centymetrowego. Otrzymujemy górną część zaszewki przodu.	3,0
	Z punktu T5 wykreślono pionowo w dół odcinek o długości 14 cm i jego koniec złączono z punktami Z oraz Z1. Otrzymano dolną część zaszewki przodu.	14,0
Zaszewki na tyle bluzki	Wyznaczono punkt T10 jako środek zaszewki dzieląc odległość P1P2 na połowę i przesuwając otrzymany punkt o 2 cm w lewo, czyli w stronę bocznego szwu bluzki. $T1T10 = \frac{1}{2} P1P2 + 2$	2,0
	Odmierzono po 1,25 cm w kierunku prawym od punktu T10 i w kierunku lewym od T10. W ten sposób otrzymano punkty Z4 oraz Z5, czyli punkty wyznaczające najszersze miejsca zaszewki tyłu.	1,2

Z punktu T10 zakreślono w górę i w dół pionowo odcinki o długości 14 cm każdy końce tych odcinków połączono z punktami Z4 oraz Z5	14,0
---	------

Bluzka damska w rozprawie doktorskiej posiada długie rękawy. Tabela 6 przedstawia konstrukcję siatki rękawa podstawowego, jednoczęściowego.

Pierwszym krokiem konstrukcji rękawa jest wyrysowanie prostej pionowej i wyznaczenie punktu R4P10 – odcinek niezbędny do konstrukcji wysokości główki rękawa, wyliczony ze wzoru:

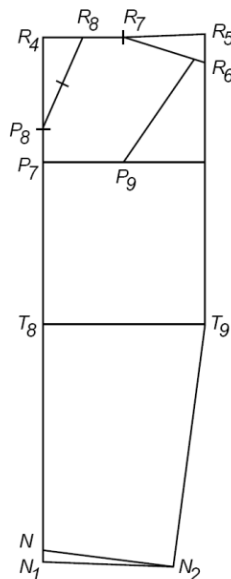
$$R4P10 = \frac{1}{2} (P9R2 + P10R3) - \frac{1}{20} (P9R2 - P10R3) - 2,0 = \frac{1}{2} (20,2 + 18,3) - \frac{1}{20} (20,2 - 18,3) - 2 = 19,25 - 1,93 - 2 = 15,3$$

Odcinki P9R2 oraz P10R3 odmierzymy linijką z siatki bluzki podstawowej po liniach prostych

Tabela 6. Konstrukcja formy rękawa podstawowego

Punkty	Metodyka wyznaczania punktów	Wynik [cm]
R4N	Długość rękawa ze wzoru: $RvNv + dk$	58,0
NN1	Odcinek pomocniczy (wielkość stała)	2,0
P10T6	Wysokość łokcia ze wzoru: $\frac{1}{2} P10N - 2$	19,4
P10P14	Wyznaczenie punktu montażowego rękawa $P10P13 - 0.5$ Odcinek P10P13 odmierzany z konstrukcji bluzki damskiej. Punkt P14 stanowi punkt montażowy rękawa z punktem P13 przodu bluzki	3,1
R4R5	Szerokość rękawa, ze wzoru: $P2P3 + dk$ (przy czym odcinek P2P3 odmierzany jest z bluzki) = $10,1 + 2(dk)$	12,1
T7T8	Zwężenie rękawa na linii łokcia – wielkość stała	1,0
NN2	Szerokość rękawa na linii dołu, ze wzoru; T6T8	3,5
R4R7	Odcinek pomocniczy do wyrysowania główki rękawa.	

R4R8	Drugi odcinek pomocniczy do wyrysowania główki rękawa	
P14R9	Trzeci odcinek pomocniczy do wyrysowania główki rękawa, ze wzoru: $1/2 P14R8$	6,5
P10P15	Odcinek pomocniczy, ze wzoru: $1/2 R4R5 + 0,5$	7,6



Rysunek 44. Siatka konstrukcyjna rękawa podstawowego

Rysunek 44 przedstawia siatkę konstrukcyjną rękawa dla standardu podstawowej bluzki damskiej.

Tabela 7 i Tabela 8 prezentują metodykę związaną z konstrukcją i modelowaniem formy rękawa podstawowego, jednoczęściowego.

Tabela 7. Konstrukcja siatki formy rękawa podstawowego

Punkty	Metodyka wyznaczania punktów
	Wykreślana jest prosta pionowa o długości ok 20 cm od lewej krawędzi biegnąca w dół od punktu R4
R4P10	Na prostej R4N zaznaczamy punkt P10 w odległości wyliczonej ze wzoru: $R4P10 = 1/2 (P9R2 + P10R3) - 1/20$ $(P9R2 = P10R3) - 2.0$

N1	W odległości 2 cm w dół od punktu N zaznaczamy punkt N1
P14	Na prostej R4N1 wyznaczany jest punkt P14 odmierzany z konstrukcji bluzki damskiej odcinek P10P13 i odejmujemy od jego długości 0.5 cm. Tak otrzymany odcinek zaznaczamy na prostej R4 u dołu od punktu P10. Punkt P14 stanowi punkt montażowy rękawa z punktem P13 przodu bluzki.
R5	Wyznaczamy szerokość rękawa. W tym celu mierzony jest odcinek P2P3 z siatki konstrukcyjnej bluzki a następnie dodawany dodatek konstrukcyjny (przyjmijmy 2 cm). Tak otrzymany odcinek wyznacza szerokość rękawa. Z punktu R4 rysujemy zatem odcinek prostopadły o otrzymanej długości.
R6	Z punktu R5 wykreślany jest odcinek równoległy do prostej R4 w dół o długości $\frac{1}{4}$ R4P10.
T7	Z punktu T6 wykreślany jest odcinek prostopadły do prostej R4, kończący się na prostej przechodzącej przez punkt R6.
T8	Z lewej strony od punktu T7 oznaczamy w odległości 1 centymetra punkt T8.
N1N2	Określana jest długość odcinka T6T8 a następnie odejmowana jest wielkość 3,5 cm, wyznaczany jest odcinek N1N2. Odcinek N1N2 kreślony jest na prawo od punktu N1N jako prostopadły do prostej R4
R7	Odcinek R4R5 podzielony jest na pół w ten sposób otrzymany punkt przesunąć o 1 cm w kierunku punktu R5.
R8	Odcinek R4R7 dzielony na pół i otrzymany w ten sposób punkt R8
R9	Punkty R8 oraz R14 łączone są odcinkiem, na którym w połowie zaznaczany jest punkt R9.
P15	Z punktu P10 wykreślany jest odcinek prostopadły, kończący się na odcinku R6T7. Następnie odmierzana jest połowa długości R4R5 i otrzymany punkt przesuwany jest o 0,5 cm w prawo, w stronę odcinka R6T7.
Punkt przesunięcia R7	Punkty R6 oraz R7 są połączone odcinkiem, na którym zaznaczamy w odległości 0.7 cm z punktu R6 w kierunku punktu R7, a następnie otrzymany punkt łączymy z punktem P15.

Tabela 8. Modelowanie formy rękawa podstawowego

Punkty	Metodyka wyznaczania punktów
P17	W punkcie P14 wykreślany jest podkrój pachy i wyznaczany punkt P13. Następnie, obracając wokół własnej osi, na odcinku R6P15 odznaczyć punkt P12. Z punktu P12' dodajemy 0.5 cm w górę po odcinku R6P15 i otrzymujemy punkt P17. Ta różnica 0.5 cm to wielkość na wdanie podkroju rękawa
R10	Punkt P14 z podkroju pachy i punkt P13 z odrysowanego kawałka i wykreślany jest punkt R3 na odcinku R4R5, obracając szablon wokół własnej osi w punkcie P14. Otrzymujemy w ten sposób punkt R10
Wyznaczanie podkroju pachy	Przerysowana część podkroju pachy przy użyciu kalki z punktu P13 (pokrywa się z punktem P14), poprzez punkt P16 aż po punkt P12 na siatkę rękawa.
R11	Z punktu P17 przerysowano część podkroju pachy i wyznaczono łuk P12R2, obracając wycinek podkroju pachy wokół własnej osi w punkcie P12 i próbując go rozłożyć na płasko, a następnie trzymając szablon w punkcie R6 obracamy nim, pozostałą część łuku odkładając na odcinku R4R5, wyznaczamy w ten sposób punkt R11
R12	W połowie odległości między punktami R10 a R11 zaznaczany jest punkt R12. Jest to punkt montażowy rękawa ze szwem barkowym.
R16	Punkt R16 wyznacza linię wewnętrzną rękawa.

Konstrukcję bluzki zakończono poprzez wycięcie formy, a w późniejszym etapie ją zdigitalizowano wykorzystując system Lectra Modaris, aby uzyskać formy odzieżowe. Rysunek 45 przedstawia zdigitalizowane formy bluzki podstawowej w systemie Lectra.



Rysunek 45. Forma bluzki w systemie Lectra (opracowanie własne)

Powyższy model standardu bluzki zawiera formy: przodu, tyłu, rękaw lewy i prawy.

3.3 Opis manekina antropometrycznego zastosowanego w eksperymencie

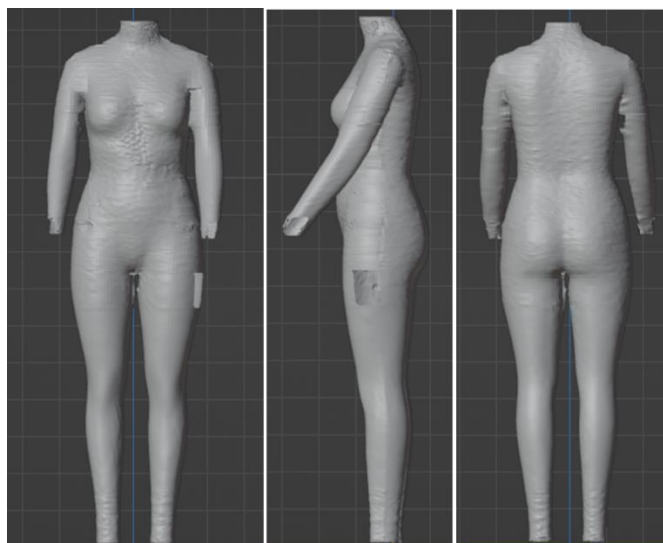
W rozprawie doktorskiej wykorzystano skaner firmy TC² Image Twin, aby zdigitalizować rzeczywistą układalność tkaniny dla odszytej bluzki i określić układalność zeskanowanej bluzki celem porównania z układalnością tkaniny bluzki wirtualnej uzyskanej w wyniku realizacji wirtualnej przymiarki. Skanowaniu poddano manekina antropometrycznego o rozmiarze 40 zbudowanego przez firmę Alvanon (Rysunek 46). Wymiary manekina, zostały określone na podstawie badań antropometrycznych przeprowadzonych w latach 90-tych w Anglii. Jest to manekin antropometryczny przeznaczony do przymiarek odzieży, wymiary manekina przedstawiają grupę osób reprezentujących rozmiar 40. Manekin ma usuwalne ręce, głowę oraz jedną nogę. W badaniach Autora nie było potrzeby, aby usuwać nogę. Na manekinie zaznaczone są linie ciała ludzkiego takie, jak linia talii, bioder, uda itp. W badaniu celowo wykorzystano manekina ze względu na niezmienność wymiarów ciała. Obawy wykorzystania ciała człowieka wiązały się z długością czasu przeprowadzenia badań i możliwością zmiany wymiarów człowieka. Manekin posiada na swojej powierzchni materiał imitujący skórę ludzką.



Rysunek 46. Manekin Alvanon

3.3.1 Budowa awatara wykorzystanego w eksperymencie

W skanerze TC² ustawiono manekina w pozycji stojącej z rękoma wyciągniętymi do przodu. Pozycja ta pozwala na dokładne zeskanowanie części ciała manekina. Rysunek 47 przedstawia manekina po zeskanowaniu.



Rysunek 47. Manekin Alvanon (rozmiar 40) zeskanowany przez skaner TC2 (opracowanie własne)

Proce skanowania dzieli się na cztery etapy:

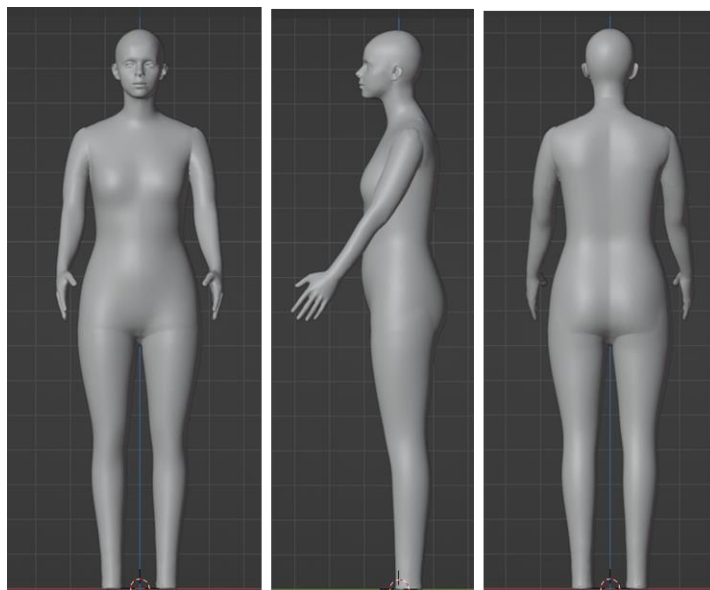
1. Przyjęcie poprawnej pozycji (Pozycja A – nogi są ustawione w określonych miejscach zaznaczonych w kabinie skanera, ręce w pozycji prostej, oparte na uchwytach).
2. Uzyskanie pre-skanu związanego z kalibracją systemu, po którym następuje proces skanowania.
3. Wygenerowanie chmury punktów, z których w późniejszym etapie tworzony jest model ciała manekina w 3D - awatar.
4. Wygenerowanie wymiarów awatara i zapis w formacie xps.

Ze względu na niską jakość uzyskanego modelu ciała manekina w 3D jako obiektu 3D (model posiadał tzw. „dziury” w siatce oraz zbyt dużą ilość poligonów siatki, powodując tym samym duży rozmiar obiektu 3D) wykorzystano oprogramowanie RapidformXOR3, Wrap 3.4 i program Blender 3.0, do budowy poprawnego awatara.

Program RapidForm posłużył do odbudowania powierzchni siatki w miejscach ubytku na powierzchni manekina (Rysunek 47). W programie dobudowano dłonie i głowę oraz zmniejszono ilość poligonów (Poligon jest to wielokąt o lub więcej prostych bokach, określony przez trójwymiarowe punkty wierzchołków i łączące je proste linie, czyli krawędzie, gdzie wewnętrzny obszar wielokąta nazywany jest ścianą) tworzących bryłę awatara. Odbudowanego awatara wyeksportowano jako obiekt 3D.

Oprogramowanie Wrap 3.4 wykorzystano do nałożenia regularnej siatki ciała (tzw. mesh) na odbudowaną poprawnie wcześniej powierzchnię awatara, w tym twarzy, a także palców i dłoni. Podczas tego procesu awatar nie zmienił swoich wymiarów, co stwierdzono podczas kontroli wymiarów awatara finalnego poprzez porównanie wymiarów awatara przed i po procesie jego budowy.

W ostatnim kroku wykorzystano program Blender, który posłużył do naniesienia tekstury tzw. „skóry” na awatara, aby wizualnie odtworzyć rzeczywisty wygląd ciała człowieka. Rysunek 48 przedstawia awatara po procesie redukcji poligonów i odbudowania siatki. W tym procesie dodatkowo wymagane było wprowadzenie szkieletu do awatara, który pozwolił na zmianę pozycji rąk. Do przymiarki wirtualnej ręce awatara powinny znajdować się w pozycji T (ręce ułożone równoległe do podstawy). Ze względu na fakt, że użyty manekin firmy Alvanon jest „sztywny”, podczas skanowania nie było możliwości zmiany pozycji rąk manekina.



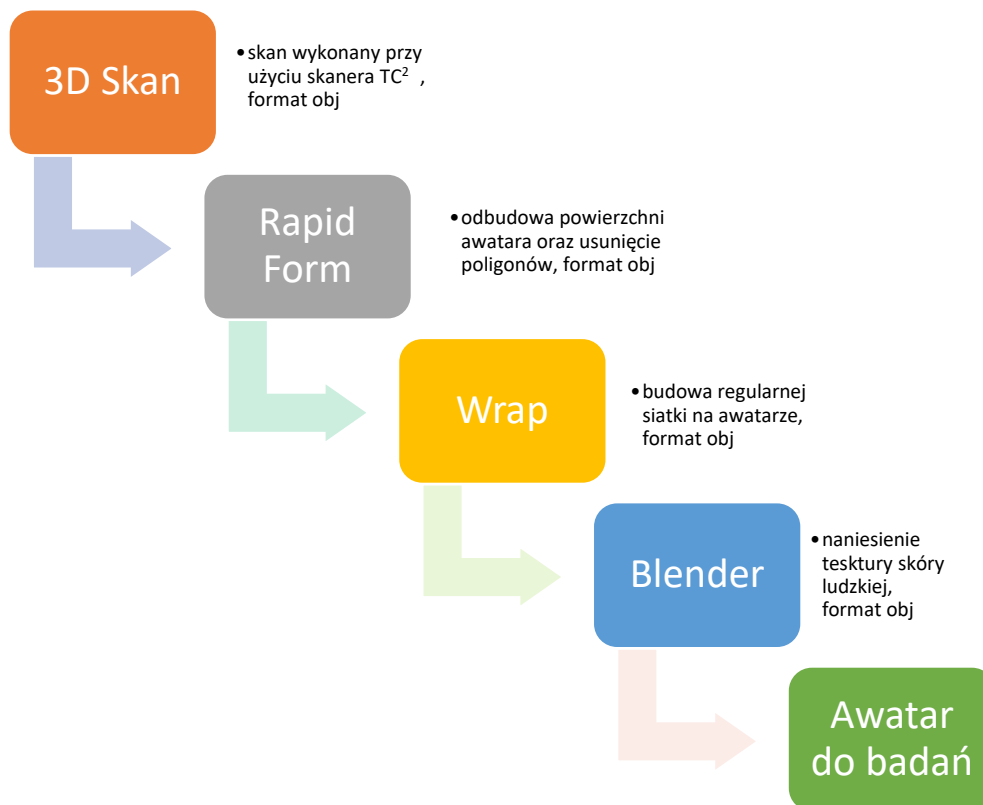
Rysunek 48. Awatar Alvanon zbudowany przy użyciu RapidForm i Wrap3 (opracowanie własne)



Rysunek 49. Awatar z nałożoną teksturą skóry (opracowanie własne)

Rysunek 49 przedstawia awatara po nałożeniu tekstury z naturalnie wyglądającą skórą człowieka. Powyższe awatary są obecnie wykorzystywane do aplikacji, gdzie można przymierzać wirtualną odzież z odwzorowaniem własnego ciała wymiarów i wyglądu skóry jak również twarzy.

Poniżej przedstawiono schemat procesu budowy awatara (Rysunek 50).



Rysunek 50. Schemat procesu budowy awatara (opracowanie własne)




3.4 Opis rodzaju materiałów wykorzystanych do badań

Po procesie przygotowania awatara rozpoczęto prace związane z odszyciem odzieży na górną część ciała. Odszyto trzy bluzki z wykorzystaniem standardu formy podstawowej bluzki damskiej. Do eksperymentu wykorzystano trzy różne materiały, które różniły się parametrami:

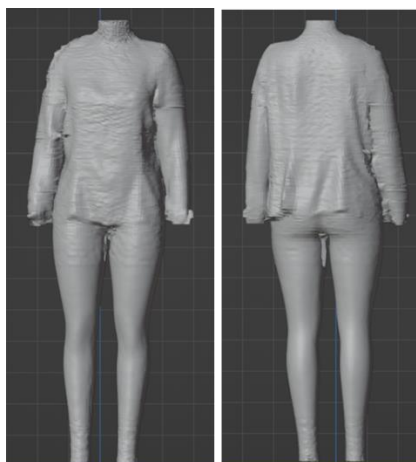
1. Masą powierzchniową,
2. Składem surowcowym tkaniny,
3. Splotem tkaniny.

Wspólną cechą wszystkich materiałów było przeznaczenie tkaniny. Ze względu na przyjęte założenia, które zakładają okrycie górnej części ciała z zastosowaniem tkaniny przeznaczonej na odzież lekką tzw. „bluzkowo/sukienkową”. Charakterystykę tkanin przedstawia Tabela 9.

Tabela 9. Charakterystyka tkanin użytych w badaniu

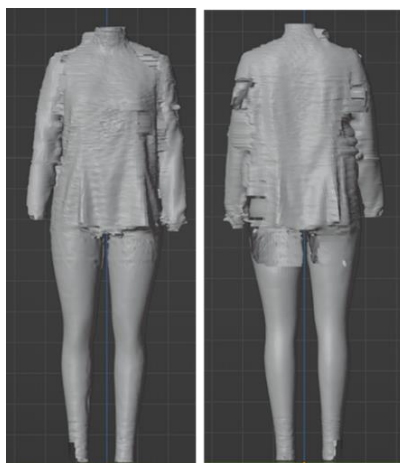
	01 BIAŁA	02 PASKI	03 ZIELONA
Skład surowca	100% Bawełna	100% Bawełna	80% Bawełna i 20% Wiskoza
Splot	plócienny	skośny	plócienny
Masa [g/cm ²]	101.8	180.6	145.7
Grubość [mm]	0.53	0.71	0.61
Zdjęcie			

Bluzki odszyto przy użyciu maszyny półautomatycznej typu Juki. Manekina Alvanon ubrano w gotową odzież (bluzki 01B, 02P, 03Z), i sukcesywnie skanowano, przy zachowaniu tej samej pozycji manekina podczas skanowania dla różnych bluzek. Rysunek 51, Rysunek 52, Rysunek 53 przedstawiają skany bluzek na manekinie Alvanon, (widok z przodu i tyłu).

**Rysunek 51. Skan bluzki 01B (kolor biały)**



Rysunek 52. Skan bluzki 02P (paski)



Rysunek 53. Skan bluzki 03Z (kolor zielony)

Skan bluzki w kolorze zielonym (Rysunek 53) jest bardzo niskiej jakości ze względu na nieznaczny połysk materiału, który ze względu na użycie światła białego w procesie skanowania, obniżył jakość jego obrazu, mimo podejmowanych licznych prób powtórnego skanowania. Bluzka 03Z posiada „dziury”, ale nie była poddana jakiegokolwiek obróbce, aby nie ingerować w rzeczywistą układalność odzieży na manekinie. Jakość uzyskanych obiektów skanowania jest istotnym elementem ze względu na dalszą zaplanowaną analizę układalności tkaniny podczas przymiarki wirtualnej. Obiekty skanowane powinny być wysokiej jakości, aby móc dokładnie odwzorować rzeczywistą układalność tkanin (zagięcia tkaniny, fałdy itp.) podczas symulacji odzieży.

Skany rzeczywistych bluzek 01B, 02P i 03Z w późniejszym etapie badań, zostały wykorzystane do analizy układalności tkaniny w bluzkach w celu porównania układalności odzieży wirtualnej z układalnością odzieży rzeczywistej, co będzie przedstawione w dalszej części rozprawy.

3.5 Badanie tkanin przy użyciu systemu KES-FB

Kawabata Evaluation System for Fabric (KES-FB) posłużył w eksperymencie do przebadania trzech tkanin bluzkowo/sukienkowych. Badania wszystkich tkanin przeprowadzono na systemie KES-FB na Politechnice Łódzkiej na Wydziale Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów w Instytucie Materiałoznawstwa Tekstyliów i Kompozytów Polimerowych w latach 2019 – 2020. Wyznaczono parametry rozciągania i ściskania, zginania, ścinania tkanin. Próbkę o wielkości 20 cm x 20 cm poddano aklimatyzacji (24h), a następnie poddano badaniu na KES-FB. Tabela 10 zawiera wyniki odczytanych parametrów tkanin: 01B, 02P i 03Z. Wszystkie próbki tkanin zostały przetestowane w kierunku osnowy, wątku i po skosie, tj. pod kątem 45 stopni do nitek osnowy i wątku przy analizie zadeklarowanej dla tkanin „bluzkowych”.

Tabela 10. Wyniki dla poszczególnych tkanin z systemu KES – FB

TEST KES-FB	Rodzaj tkaniny	01B			02P			03Z		
	Parametry	Osnowa	Wątek	45°	Osnowa	Wątek	45°	Osnowa	Wątek	45°
Rozciąganie	EMT [%]	5.220	15.820	17.600	2.970	9.610	16.850	5.180	23.160	8.080
	LT [-]	0.633	0.452	0.997	0.753	0.636	1.125	0.590	0.391	1.556
	WT [N/m]	8.250	17.660	43.850	5.580	15.280	47.400	7.630	22.620	31.480
	RT [%]	57.480	40.100	32.360	57.370	41.930	31.740	0.410	33.230	39.930
Ścinanie	G [N/m]	1.660	1.450	0.060	3.350	2.660	0.040	1.600	1.500	0.040
	2HG [N/m]	1.160	0.610	0.050	2.870	4.440	0.040	0.410	1.120	0.000
	2HG5 [N/m]	1.240	0.600	0.140	8.280	6.930	0.090	0.650	1.580	0.050
Zginanie	B [10^{-4} Nm/m]	0.020	0.012	0.016	0.205	0.059	0.006	0.027	0.011	0.009
	2HB [10^{-2} N/m]	0.010	0.007	0.010	0.225	0.063	0.009	0.015	0.006	0.005
Pomiarchropo watości	MIU [-]	0.169	0.179	0.239	0.131	0.141	0.231	0.188	0.182	0.184
	MMD [-]	0.015	0.014	0.013	0.007	0.010	0.013	0.015	0.013	0.009
	SMD [μ m]	12.400	5.130	4.990	1.450	2.830	0.090	11.250	5.620	3.950

3.6 Zastosowany model matematyczny tkaniny wirtualnej w przeprowadzonym eksperymencie

Problem układalności tkaniny na użytkowniku odzieży pojawia się często w literaturze współczesnej i jest ciągłym wyzwaniem dla naukowców zajmujących się obróbką odzieży. Ocena układalności tkaniny w wirtualnym środowisku, jak i w rzeczywistym jest

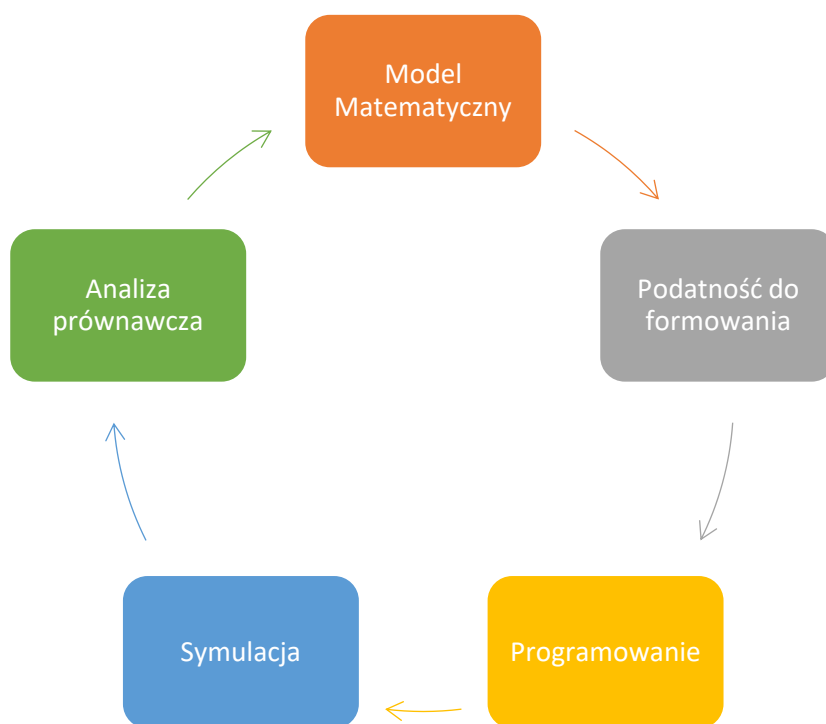
subiektywna i trudna do zdefiniowania, jako wielkość policzalna. Zastosowanie modelu matematycznego tkaniny wiąże się z uproszczeniem opisu zachowania się tkaniny poprzez wykorzystanie cech materiałów przy pomocy mierzalnych parametrów metrologicznych tkanin i pominięciu trudnych cech, nieistotnych dla osiągnięcia postawionego celu. Zawarte w modelu symbole i operatory matematyczne mają interpretację odnoszącą je do konkretnych elementów modelowanego fragmentu rzeczywistości. Poprawnie zbudowany model matematyczny pozwala na lepsze zrozumienie badanych właściwości, czy też badanego zagadnienia. Badania polegają na wykorzystaniu oprogramowania do symulacji układalności tkaniny w 3D. Pierwszym krokiem jest zrozumienie definicji symulacji w środowisku wirtualnym, czyli eksperymentowanie na danym modelu badanego systemu, przy wykorzystaniu oddziaływań i obserwacji mających swoje odpowiedniki w badanym systemie. Natomiast model matematyczny do symulacji, to taki model matematyczny, który został zbudowany dla potrzeb tego procesu odwzorowania danego obiektu w 3D. W procesie budowy modelu matematycznego wyróżniono następujące kroki:

- a) opisanie celów i założeń modelu,
- b) budowa modelu,
- c) identyfikacja modelu,
- d) algorytmizacja obliczeń z modelem,
- e) weryfikacja poprawności działania modelu.

W części empirycznej Autor rozprawy przedstawił zastosowany model matematyczny. Badanie polegało na znalezieniu optymalnego współczynnika, który poprawi układalność odzieży na sylwetce ludzkiej.

Model matematyczny w badaniu pozwoli na porównanie wyników wyjściowych z wejściowymi, czyli przyrównanie układalności bluzek wirtualnych z układalnością bluzek rzeczywistych.

Zaproponowany model matematyczny przedstawia Rysunek 54. Ma on na celu wprowadzenie współczynnika podatności na formowanie jako wartości policzalnej w postaci algorytmu do systemów komputerowych, sterujących modułami do symulacji układalności odzieży w środowisku wirtualnym.

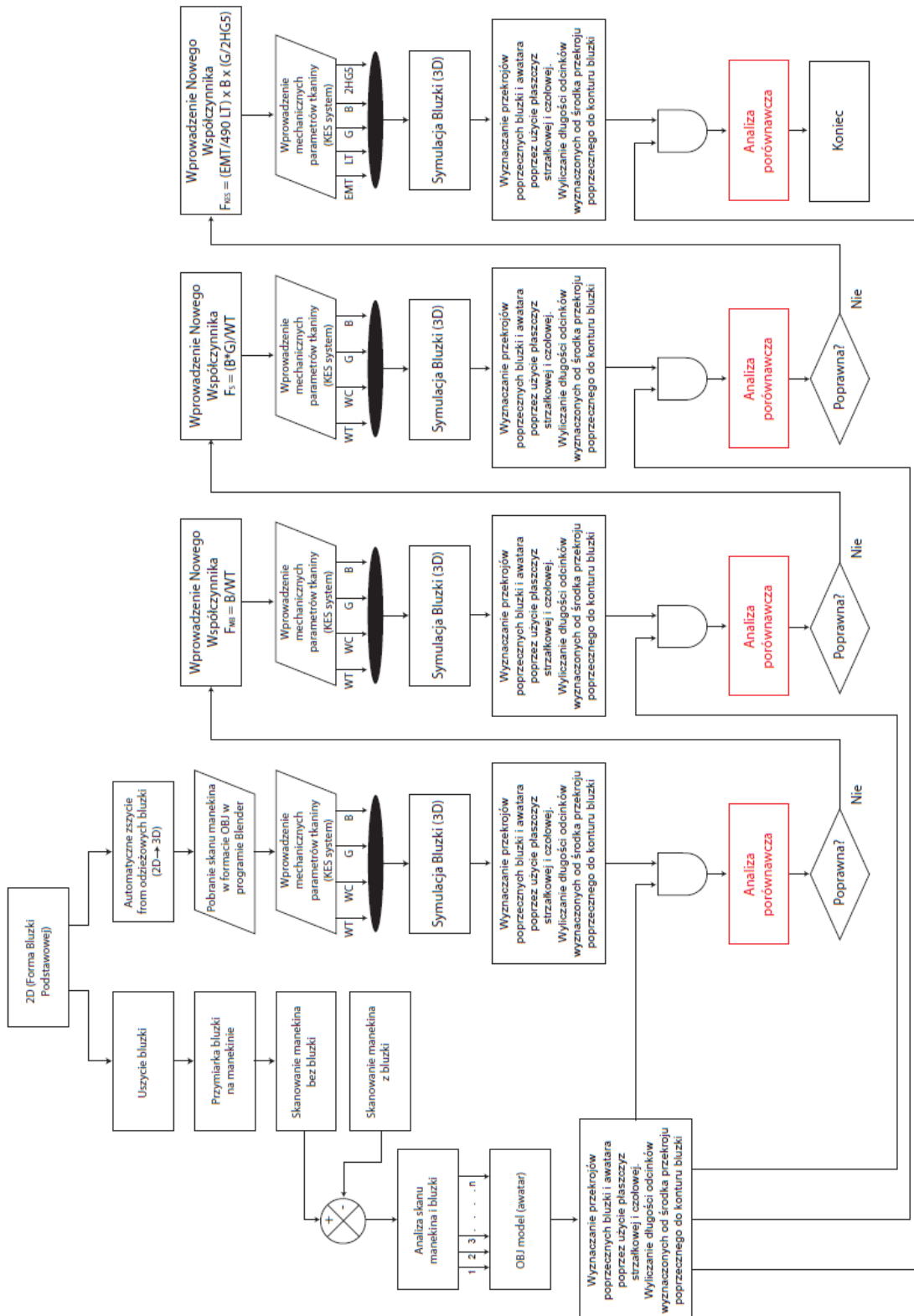


Rysunek 54. Uproszczony schemat procesu badań

Wprowadzenie pojęcia podatności na formowanie do systemów komputerowych w celu udoskonalenia symulacji i układalności tkaniny na bryle jest nowatorskim podejściem. Autor rozprawy zaproponował trzy współczynniki podatności na formowanie, które zostały wprowadzone do procesu symulacji odzieży. Przeliczanie układalności tkaniny w odzieży na obiekcie awatara w środowisku wirtualnym (CAD) bazuje jedynie na danych z systemu KES-FB, czyli pobierane są wartości sztywności zginania, modułu rozciągania itp., które bezpośrednio oddziałują na zachowanie się punktów masy w układzie „mass_spring”. Poniższa praca prezentuje nowe rozwiązanie poprzez przeliczanie wartości pobranych z systemu KES-FB i odczytywanie ich oddziaływania na układ siatki jako całości, dając podstawę do oceny układalności tkaniny w 3D. Podrozdziały prezentują proces badań przeprowadzonych przez Autora.

3.7 Współczynnik podatności wyznaczony przy użyciu KES-FB

Problem podatności na formowanie tkaniny jest bardzo złożony. Rozprawa doktorska polega na identyfikacji, budowie i wprowadzeniu współczynnika podatności na formowanie do programu Blender oraz jego modyfikacji (razem 3 propozycje) do modelu tkaniny wirtualnej, stosowanego w programach CAD/CAM realizujących wirtualną przymiarkę odzieży.



Rysunek 55. Schemat poszukiwania właściwego współczynnika podatności na formowanie

Rysunek 55 przedstawia schemat działań podjętych w celu zastosowania współczynnika podatności na formowanie w opisie wirtualnym tkaniny oraz znalezienia właściwego współczynnika podatności na formowanie spośród prezentowanych w literaturze, jak i własnych rozwiązań. Idea poszukiwania stosownego współczynnika związana była z iteracyjnym zastosowaniem kolejnego, nowego współczynnika podatności na formowanie, uzupełnianego o dodatkowe komponenty. Jednocześnie wpływało to na wzrost złożoności budowanych kodów źródłowych, zawierających proponowany współczynnik, które implementowano w programie Blender (open source software) tworząc tym samym jego nowe wersje.

W poniższej rozprawie doktorskiej Autor zaproponował nowe współczynniki podatności na formowanie.

3.7.1 Podatność na formowanie F_{MB}

Pierwszym zmodyfikowanym współczynnikiem podatności na formowanie jest zaproponowany przez Autora współczynnik F_{MB} opracowany na podstawie wzoru Lindberga (7). Korzystając z wzoru Lindberga (7) i parametrów KES-FB Autor rozprawy zaproponował wzór, który określa według niego podatność na formowanie tkaniny jako iloraz sztywności zginania na jednostkę powierzchni do energii rozciągania (Równanie 18):

$$F_{MB} = \frac{B}{WT} \quad (18)$$

gdzie:

F_{MB} – podatność na formowanie,

B – sztywność zginania na jednostkę szerokości próbki [10^{-4} Nm/m],

WT – energia rozciągania na jednostkę powierzchni próbki [N/m].

Wyniki przeliczane były automatycznie w programie Blender według nowego algorytmu, obliczane dla rzeczywistych tkanin 01B, 02P, 03Z.

3.7.2 Podatność na formowanie F_S

Drugim zaproponowanym współczynnikiem podatności na formowanie przez Autora pracy jest zmodyfikowany współczynnik podatności na formowanie z dodatkowym parametrem określającym sztywność ścinania (S), wyznaczony przy użyciu parametrów z systemu KES-F3 (Równanie 19).

$$F_S = \frac{B * S}{WT} \quad (19)$$

gdzie:

S – sztywność postaciowa próbki [N/m],

B – sztywność zginania na jednostkę szerokości próbki [10^{-4} Nm/m],

WT – energia rozciągania na jednostkę powierzchni próbki [N/m].

Również w tym przypadku wyniki były przeliczane automatycznie w programie Blender według nowego algorytmu.

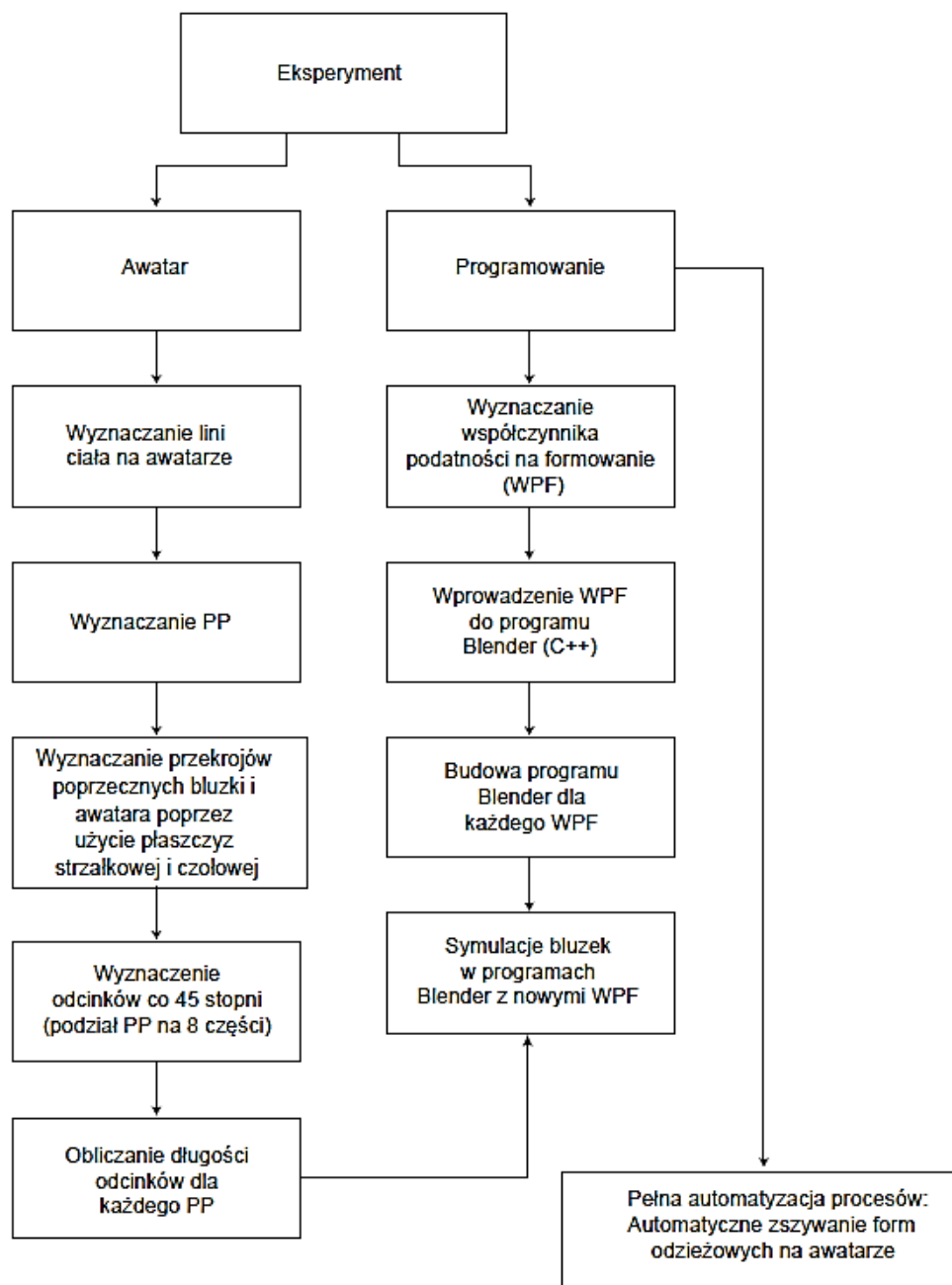
3.7.3 Podatność na formowanie F_{KES}

Trzecim wprowadzonym współczynnikiem do programu Blender jest współczynnik podatności na formowanie zaproponowany przez Naujokaityte i Strazdiene (Równanie 10).

Zatem jak w poprzednich próbach, nastąpiło automatyczne obliczanie podatności na formowanie F_{KES} według algorytmu w programie Blender.

3.8 Przebieg doświadczenia

Przebieg doświadczenia jest złożonym i wielopoziomowym procesem. Etapy przebiegu doświadczenia zobrazowano na rysunku 72 w celu schematycznego przedstawienia procesów dokonanych podczas przygotowania awatara, tkaniny i oprogramowania do przeprowadzenia doświadczenia.



Rysunek 56. Schemat planowania eksperymentu

Rysunek 56 obrazuje poszczególne kroki podjęte podczas doświadczenia, które opisane są szczegółowo w podrozdziałach.

Celem tego badania jest uzyskanie informacji dotyczących zależności między wartościami niezależnymi, jakimi są różnice pomiędzy długościami odcinków od środka płaszczyzny przekroju poprzecznego do konturu bluzki dla wybranego przekroju poprzecznego. Charakterystyka badań polega na ustaleniu zbioru wielkości wejściowych (zmiennych niezależnych) i wyjściowych (zależnych).

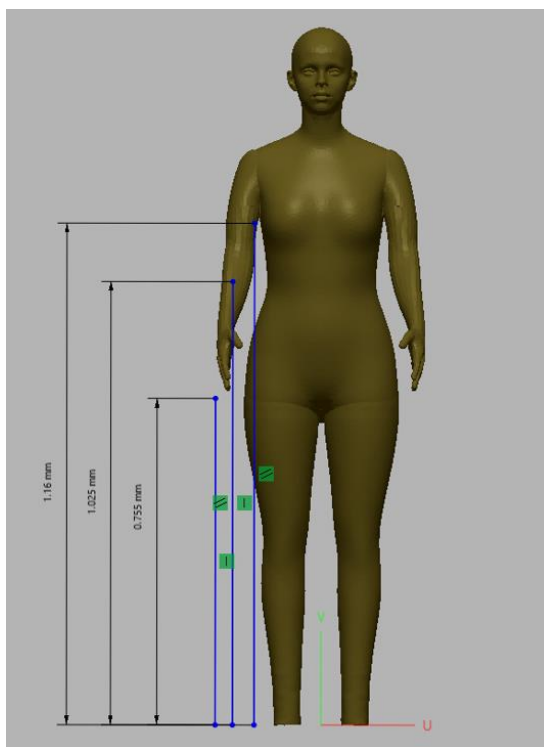
3.8.1 Określenie lokalizacji przekrojów poprzecznych na awatarze

W rozdziale 3.3.1 Autor opisał przebieg budowy awatara w 3D, który pełni ważną rolę w badaniu, ponieważ swoimi wymiarami musi dokładnie reprezentować odwzorowanie manekina Alvanon.

Wirtualne przymiarki bluzek przeprowadzono na zbudowanym awatarze. Linie przekrojów poprzecznych ujęte w analizie układalności bluzki na ciele awatara zostały wyznaczone zgodnie z zasadami konstrukcji odzieży, które odnoszą się do linii ciała wykreślanych przez główną płaszczyznę poprzeczną T. W badaniu Autor posłużył się trzema liniami ciała:

1. linią piersi (klatki piersiowej),
2. linią talii,
3. linią bioder.

Wyznaczenie linii odbyło się poprzez odmierzenie ich od poziomu podstawy (linia stopy) manekina, jak przedstawia Rysunek 57.



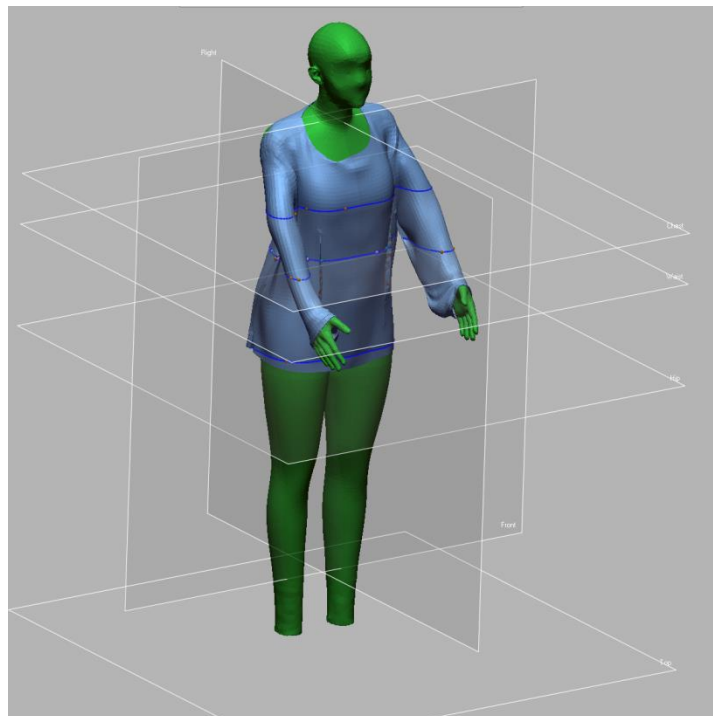
Rysunek 57. Wyznaczenie wysokości linii ciała dla przekrojów poprzecznych awatara.

W pierwszym etapie wyznaczona została oś będąca przecięciem płaszczyzn podstawowych strzałkowej środkowej i czołowej środkowej, jednocześnie stanowiąc o

wyznaczeniu środków płaszczyzn lokowanych przekrojów poprzecznych awatara, które były tożsame dla awatara ubranego w bluzki. Następnie wskazano linie ciała na awatarze bez bluzki, aby ustalić wysokości lokalizacji przekrojów poprzecznych, powtarzanych podczas analizy awatara ubranego w bluzki i badanych w doświadczeniu.

Wyznaczanie linii ciała i przekrojów poprzecznych odbyło się za pomocą programu Geomagic Design X z dokładnością do trzech miejscach po przecinku i w jednostkach milimetrach [mm].

Rysunek 58 przedstawia lokalizację przekrojów poprzecznych awatara ubranego w bluzkę.



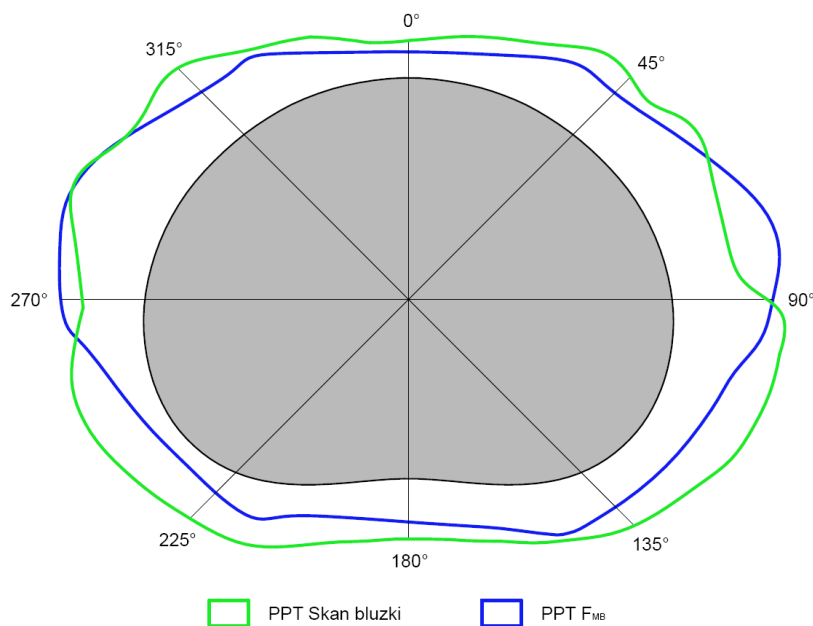
Rysunek 58. Przekroje poprzeczne awatara w bluzce

Przyjęta procedura określania lokalizacji przekrojów porzecznych (PP) na ciele awatara, posłużyła również do jej automatyzacji, aby w przypadku analizy wielu różnych symulacji bluzek z pozostałych materiałów, następowało automatycznie wyznaczenie PP.

Przekroje poprzeczne (PP) wyznaczone w badaniu to PPKP (przekrój poprzeczny na wysokości klatki piersiowej), PPT (przekrój poprzeczny na wysokości talii) i PPB (przekrój poprzeczny na wysokości bioder).

3.8.2 Tworzenie przekrojów poprzecznych awatara

W każdym przekroju poprzecznym wyznaczone zostały odcinki od środka przekroju poprzecznego dla 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° i 315° do linii konturu, czyli każdy kontur jest podzielony na 8 części. Rysunek 59 przedstawia PPT (przekrój poprzeczny talii) dla zeskanowanego manekina i bluzki wzorca oraz PPT dla tkaniny 01B (biała badana przy użyciu systemu KES-FB w kierunku osnowy).



Rysunek 59. PPT – Przekrój poprzeczny talii dla skanu bluzki i bluzki z użyciem współczynnika podatności na formowanie F_{MB}

Rysunek 59 przedstawia dwa kontury: pierwszy - zielony to przekrój poprzeczny wzorca (zeskanowanej bluzki rzeczywistej) drugi - niebieski to przekrój poprzeczny dla symulacji z użyciem zmodyfikowanego współczynnika podatności na formowanie oznaczonego, jako F_{MB} . W środku obu konturów umieszczony jest przekrój poprzeczny talii awatara (PPTA).

W Załączniku nr 7 -12, zawarto takie skany dla wszystkich bluzek i wszystkich przekrojów poprzecznych. Wszystkie przekroje i odległości tkaniny od środka przekroju poprzecznego zostały wykonane z wykorzystaniem programu GeoMagic Design X. Długości odcinków od środka przekroju poprzecznego do konturu obliczane są w milimetrach i zestawione w tabelach () do późniejszej analizy wyników badań. Tabele, które zawierają informacje analityczne tkaniny i zbudowane są na podstawie zmiennych jakościowych eksperymentu tj.:

1. Skan manekina odzianego w bluzki
2. Symulacja bluzek z wykorzystaniem programu Blender,

3. Symulacja bluzek ze zmodyfikowanym współczynnikiem F_{MB} . Pierwszym zmodyfikowanym współczynnikiem podatności na formowanie jest zaproponowany przez Autora współczynnik F_{MB} opracowany na podstawie wzoru Lindberga (7). Korzystając z wzoru Lindberga (7) i parametrów KES-FB Autor rozprawy zaproponował wzór, który określa według niego podatność na formowanie tkaniny jako iloraz sztywności zginania na jednostkę powierzchni do energii rozciągania (Równanie 18).
4. Symulacja bluzek z wykorzystaniem zmodyfikowanego współczynnika F_S . Drugim zaproponowanym współczynnikiem podatności na formowanie przez Autora pracy jest zmodyfikowany współczynnik podatności na formowanie z dodatkowym parametrem określającym sztywność ścinania (S), wyznaczony przy użyciu parametrów z systemu KES-F3 (Równanie 19).
5. Symulacja bluzek z F_{KES} według Równania 10.

Symulacje dla trzech bluzek: 01B, 02P, 03Z zostały przeprowadzone w dwóch kierunkach: wzdłuż osnowy i pod kątem 45°, parametry rozciągania, zginania i ścinania zostały wykorzystane z badań z wykorzystaniem systemu KES-FB.

3.8.3 Budowa algorytmów z wprowadzeniem współczynnika podatności na formowanie

Program Blender posiada otwartą licencję, co zostało wykorzystane do wprowadzenia nowych algorytmów do symulacji układalności bluzki na awatarze. Algorytmy, wprowadzone przez Autora rozprawy, wpływają na zmianę geometryczną siatki w programie Blender i zostały napisane w języku programowania C++. Modyfikacje przeprowadzane na siatce tkaniny muszą być wykonane na najniższym poziomie budowy programu.

Algorytm do symulacji układalności tkaniny na bryle w wirtualnej przestrzeni jest zapisany w języku tzw. „niskiego poziomu języka „C” oraz wysokiego poziomu języka „C++” (kod z C++ pisany, jak tylko to możliwe nisko-poziomowo). Aby dokonać modyfikacji symulacji należy przebudować kod źródłowy programu Blender. Wprowadzone przez Autora kody źródłowe są napisane w językach C/C++/Python, edycje symulacji wykonano w języku C++.

Zmiana programu dotyczyła sekcji „cloth” opisana przez podsekcję „model mass spring”. Autor badań skupił się na modyfikacji modelu zginania, który został zastąpiony nowym modelem zginania, w którym zastosowano współczynnik podatności na formowanie.

W związku z powyższym powstał nowy moduł w sekcji „cloth” w programie Blender. Nowy moduł poddany został kompilacji, czego wynikiem jest nowy program Blender (Blender.exp).. Po wprowadzeniu nowego algorytmu w części sim_cloth i SIM_mass spring (Rysunek 60) proces budowy nowego programu Blender powtarzano łącznie trzy razy (dla każdego zmodyfikowanego współczynnika podatności na formowanie).

Dla każdej nowej wersji programu Blender, została wykonana symulacja bluzek, gdzie wyniki z KES-FB dla każdej symulacji i tkaniny zostały wpisane w interfejsie Blendera w opcji „cloth parameters”.

Ostatni algorytm z wykorzystaniem zmodyfikowanego współczynnika podatności na formowanie F_{KES} , był najtrudniejszym do zakodowania, ponieważ wystąpiła potrzeba stworzenia nowego interfejsu i wprowadzenie nowych parametrów tkaniny z systemu KES-FB dla zginania i rozciągania takich jak: ETM, Stała – 490, LT, G, 2HG5.

```
462
463     return 1;
464 }
465
466 int licznik = 0;
467 // Funkcja licząca rozkład sił w tkaninie, funkcja jest typu "inline" a więc w miejsce wywołania
468 // funkcji zostanie wstawiona jej zawartość (kod) zamiast odwołania do miejsca w pamięci programu
469 #BLI_INLINE void cloth_calc_spring_force(ClothModifierData *cldm, ClothSpring *s)
470 {
471
472
473     Cloth *cloth = cldm->clothObject; // Deklaracja wskaźnika typu "Cloth" i przypisanie mu
474     // wcześniej zdefiniowanego obiektu
475     ClothSimSettings *parms =
476     cldm->sim_parms; // Deklaracja wskaźnika typu "ClothSimSettings" i przypisanie mu obiektu
477     // który odpowiada za parametry tkaniny takie jak (bending, tenstion,
478     // compression, itd.), obiekt zawiera dane wpisywane w menu Blendera
479     Implicit_Data *data = cloth->implicit;
480     bool using_angular =
481     parms->bending_model ==
482     CLOTH_BENDING_ANGULAR; // zmienna typu bool (przyjmuje wartości true lub false), kod
483     // inicjalizuje zmienną "using_angular" zależnie od tego czy w
484     // symulacji zdecydowano się użyć modelu CLOTH_BENDING_ANGULAR
485     bool resist_compress = (parms->flags & CLOTH_SIMSETTINGS_FLAG_RESIST_SPRING_COMPRESS) &&
486     !using_angular;
487
488     s->flags &= ~CLOTH_SPRING_FLAG_NEEDED;
489
490     /* Calculate force of bending springs. */
491     if ((s->type & CLOTH_SPRING_TYPE_BENDING) && using_angular) {
492     #ifdef CLOTH_FORCE_SPRING_BEND
493     float k, scaling; // definicja zmiennej k oraz scaling, zmienne typu "float" przechowują
494     // liczby zmiennoprzecinkowe
495
496     s->flags |= CLOTH_SPRING_FLAG_NEEDED;
497
498     /*Lindberg
499     float B = parms->bending; // deklaracja i definicja zmiennej B - przypisujemy wartość
500     // parametru "bending" pochodzącego z menu Blendera
501     float WT = parms->tension; // deklaracja i definicja zmiennej WT - przypisujemy wartość
502     // parametru "tension" pochodzącego z menu Blendera
503
504     scaling =
505     B / WT +
506     s->ang_stiffness *
```

Rysunek 60. Struktura programu Blender SIM_mass_spring

W tej części eksperymentu Autor wprowadził wiele poprawek do modelu, takich jak optymalizacja procesu przeliczania symulacji. Przeliczenie układalności tkaniny na ciele przebiegało bardzo długo i czas na jedną klatkę zajmował około sekundy, co jest długim czasem, jeśli takich klatek jest ponad 1000.

Autor rozprawy nie podejmuje dokładnego opisu struktury i znaczenia algorytmów, jakie stworzył, gdyż istotą pracy doktorskiej jest zbadanie, czy dany algorytm przedstawia rzeczywistą lub zbliżoną układalność tkaniny w wirtualnym środowisku. Budowa algorytmów oraz system wprowadzenia był bardzo złożony i wymagał wiedzy informatycznej na poziomie programowania, co przedłużyło okres badań (Autor budował samodzielnie wszystkie algorytmy tym samym ucząc się języków programowania).

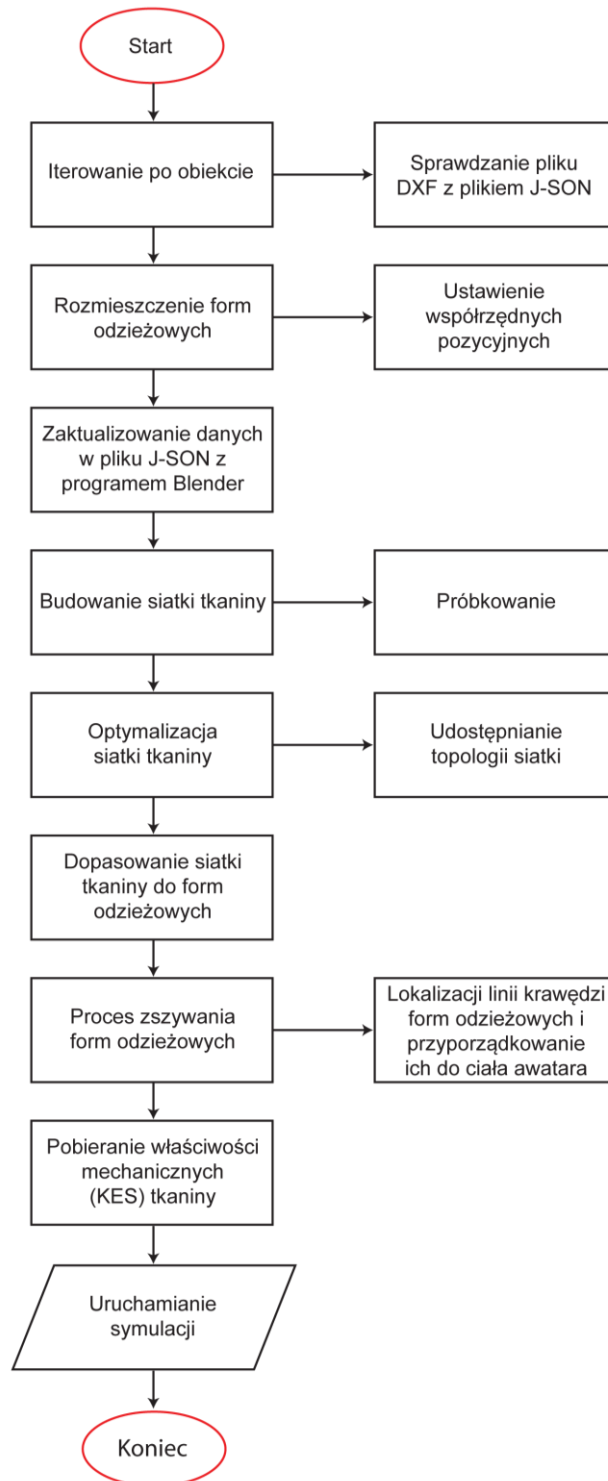
3.8.4 Budowa algorytmu do automatycznego zszywania odzieży w środowisku wirtualnym

Rozdział budowy algorytmu do automatycznego zszywania odzieży w 3D przedstawia proces budowy oprogramowania do szybkiego procesu szycia w 3D, bez ingerencji człowieka. Program ten rozpoznaje formy odzieżowe i lokalizuje je odpowiednio na ciele awatara. Rozprawa doktorska przedstawia przechodzenie po kolei z przestrzeni jednowymiarowej (1D), gdzie wyróżniamy pobieranie wymiarów z form odzieżowych poprzez stopniowanie i rekonstrukcję dwuwymiarowych form odzieży (2D), aż do zagadnienia szycia form odzieżowych. Szycie form odzieżowych w wirtualnej przestrzeni (3D) jest bardzo skomplikowanym zagadnieniem, gdyż następuje tu przechodzenie z przestrzeni dwuwymiarowej do trójwymiarowej. Schemat budowy programu do automatycznego zszywania form odzieżowych w wirtualnej przestrzeni przedstawia Rysunek 61. Do zaprojektowania algorytmu w pracy wykorzystano program Blender i język programowania Python.

Proces automatycznego szycia odzieży w 3D pozwala na jej szybką obróbkę. Innowacyjnym rozwiązaniem tego algorytmu jest rozpoznawanie form odzieżowych i dopasowywanie ich do elementów ciała jak przód, tył, ręka itp. Dotychczasowe oprogramowania oferują semi-automatyczne rozwiązania, czyli użytkownik programu wskazuje krawędzie formy odzieżowej, które mają być zszyte na ciele awatara (wskazanie części ciała, gdzie forma odzieżowa przynależy).

W pełni zautomatyzowany proces pozwala na wykorzystanie algorytmu nie tylko dla systemów CAD/CAM, ale również dla programów/aplikacji do przymiarek odzieży w 3D, czyli tzw. wirtualnych przymierzalni/sklepów. Przykładowo aplikacja może pobierać pliki form odzieżowych i automatycznie zszywać je na awatarze, który reprezentuje klienta sklepu internetowego. Osoba kupująca odzież „online” jest w stanie zobaczyć w rzeczywistym czasie przymiarkę na swoim awatarze w 3D bez nanoszenia zdjęć 2D, jak dotychczas jest prezentowane przez różnego rodzaju aplikacje. Automatyczne szycie form odzieżowych pozwala na dokładną przymiarkę odzieży z widocznymi luzami odzieży.

Takie innowacyjne rozwiązanie pozwoli na kontrolowane zakupy online, czyli zmniejszenie procesu zwrotów odzieży ze względu na złą pasowalność, redukcję kosztów wysyłki zwrotnej oraz redukcję tzw. „carbon foot print”- śladu węglowego.



Rysunek 61. Schemat algorytmu do automatycznego zszywania odzieży

Nowo powstały algorytm do automatycznego szycia pobiera plik DXF i wczytuje wszystkie dane do programu Blender. Pliki DXF posiadają strukturę 2D. Zbudowane są z punktów 1D, a następnie połączone są liniami tworząc płaski rysunek 2D. Podczas pisania algorytmu, należy brać pod uwagę, iż pliki DXF nie posiadają w swej strukturze siatki (czyli kwadratów i trójkątów), które pomagają w nadaniu kształtu form odzieżowych w

przestrzeni 3D. W związku z powyższym algorytm automatycznego szycia musi posiadać w swej strukturze ważny element, jakim jest nadanie siatki na obiekt 2D.

W pierwszym etapie algorytmu iterujemy (przechodzenie po wszystkich elementach po kolei) po formach odzieżowych w celu stworzenia grup werteksów (Vertex Group) określających punkty orientacyjne na siatce (mesh).

W kolejnym etapie algorytmu następuje przygotowywanie siatki do ponownego próbkowania poprzez dzielenie danych krawędzi na odcinki równej długości.

Następny etap ma za zadanie stworzyć siatkę składającą się z kwadratowych komórek o zadanym rozmiarze.

W celu poprawienia topologii i wyrównania siatki nakładany jest modyfikator „corrective smooth”.

Algorytm również ma za zadanie zindeksować i zszyć zaszewki, jeśli takie istnieją. Zaszewki w każdej formie odzieżowej są zszywane jednocześnie. Zaszewki są określane poprzez punkty, w których punkt środkowy dzieli obie łączone krawędzie materiału.

Gdy wszystkie operacje na poszczególnych formach odzieżowych są zakończone, widać całość np.: jeden przód, jeden tył, jeden rękaw, które są zaznaczane, a następnie odpowiednio łączone np. przód do tyłu itd.

Program do automatycznego zszywania posługuje się przypisywaniem kategorii odzieży np. bluzki, spodnie, spódnice ze względu na nazwy form odzieży takich jak przód, tył, nogawka czy rękaw. Negatywną cechą tego algorytmu jest rozpoznawanie nazw form odzieżowych, co limituje i zmusza technologów odzieżowych do dokładnego opisu form odzieżowych.

3.9 Podsumowanie i wnioski części empirycznej

Część empiryczna wykorzystuje trzy tkaniny zbadane na systemie KES-FB. Zestawienie wszystkich wyników w tabeli i wyliczenia współczynnika podatności na formowanie posłuży do przeprowadzenia analizy w dalszej części pracy.

Autor rozprawy doktorskiej w wyżej wymienionym rozdziale przedstawia proces budowy awatara. Awatar swoim wyglądem ma odwzorowywać dokładną sylwetkę człowieka, ponieważ wszystkie niedoskonałości na ciele, np. wady postawy mają wpływ na układalność odzieży na sylwetce człowieka.

W powyższym rozdziale opisano budowę kodu do automatycznego zszywania form odzieżowych. Kody zostały przetestowane i wykorzystane w pracy do szycia badanej odzieży na górną część ciała (bluzka z długim rękawem).

Część empiryczna pozwala stworzyć obiekty 3D, które posłużą Autorowi do analizy porównawczej (Załączniki nr 1-5). Ważnym elementem tej pracy jest zachowanie

poprawnego procesu badania. Jeśli awatar nie odwzorowuje rzeczywistej sylwetki, na którą bluzka była przymierzana, może mieć to wpływ układalność tkaniny na ciełe. Złe odczytanie wyników z systemu KES-FB może negatywnie wpłynąć na przeliczanie układalności tkaniny w przestrzeni 3D.

Wprowadzenie niepoprawnego algorytmu, który określa zdolność tkaniny do formowania może negatywnie wpłynąć na prawidłowy proces symulacji, gdyż program nie zasymuluje poprawnej układalności. Dlatego pozyskanie prawidłowych wyników badań jest niezbędne do stworzenia wieloatrybutowych baz danych będących podstawą analiz.

4 Analiza porównawcza wyników badań

W rozprawie badane są zależności między dwiema bluzkami:

1. bluzką, która reprezentuje rzeczywistą układalność tkaniny na manekinie,
2. bluzką, która symuluje układalność tkaniny na awatarze w programie Blender.

Układalność bluzek na awatarze symulowana w programie Blender została określona z zastosowaniem nowych współczynników określonych jako podatność na formowanie. Pojęcie podatności na formowanie materiału odzieżowego w pracy doktorskiej przekłada się na mierzalne przedstawienie układalności bluzki na sywetce manekina w przestrzeni wirtualnej.

Autor pracy posłużył się trzema współczynnikami podatności na formowanie, w których wykorzystał parametry mierzalne uzyskane z systemu KES-FB:

1. F_{MB} – iloraz sztywności zginania B do energii rozciągania WT, Pierwszym zmodyfikowanym współczynnikiem podatności na formowanie jest zaproponowany przez Autora współczynnik F_{MB} opracowany na podstawie wzoru Lindberga (7). Korzystając z wzoru Lindberga (7) i parametrów KES-FB Autor rozprawy zaproponował wzór, który określa według niego podatność na formowanie tkaniny jako iloraz sztywności zginania na jednostkę powierzchni do energii rozciągania (Równanie 18),
2. F_S – iloraz iloczynu sztywności zginania B i sztywności postaciowej G do energii rozciągania WT. Drugim zaproponowanym współczynnikiem podatności na formowanie przez Autora pracy jest zmodyfikowany współczynnik podatności na formowanie z dodatkowym parametrem określającym sztywność ścinania (S), wyznaczony przy użyciu parametrów z systemu KES-F3 (Równanie 19),
3. F_{KES} – współczynnik, który uwzględnia iloraz wydłużenia EMT przy obciążeniu 490 N/m i liniowości krzywej rozciągania podczas obciążenia LT pomnożony przez sztywność zginania B oraz iloraz sztywności postaciowej G i histerezy (2HG5) podczas ścinania przy kącie 5°, który jest trzecim badanym przez Autora w rozprawie, współczynnikiem podatności na formowanie (Równanie 10).

Analiza polega na:

- a) wykonaniu porównania przekrojów poprzecznych zeskanowanej bluzki rzeczywistej z bluzkami wirtualnymi uzyskanymi w programie Blender w oparciu o nowe współczynniki podatności na formowanie,
- b) wykreśleniu wykresów radarowych z naniesionymi wartościami dla każdej płaszczyzny przekroju poprzecznego PP badanej bluzki,
- c) wyznaczeniu różnic pomiędzy wartościami długości ww. odcinków dla wskazanych kątów w każdej płaszczyźnie przekroju PP badanej bluzki,
- d) zbadaniu współczynnika korelacji liniowej pomiędzy cechami (długościami odcinków od środka przekroju poprzecznego do krawędzi konturu bluzki).

4.1 Analiza porównawcza - jakościowa bluzki rzeczywistej (zeskanowanej) z bluzką wirtualną

Część analityczna składa się w szczególności z analizy porównawczej przekrojów poprzecznych dla każdego typu bluzki rzeczywistej i wirtualnej. Analiza porównawcza to porównanie kształtów konturów bluzki wirtualnej w przekrojach poprzecznych: klatki piersiowej (PPKP), talii (PPT) i bioder (PPB) z kształtem konturów bluzki wykonanym przy użyciu skanera TC² w tych samych miejscach. Tworzenie przekrojów poprzecznych opisano w rozdziale 3.8.2. Przekroje poprzeczne stworzono dla:

1. skanów bluzki rzeczywistej: 01B, 02B, 03Z,
2. symulacji bluzki wirtualnej z wykorzystaniem oprogramowania Blender,
3. symulacji bluzki wirtualnej z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} , w programie Blender,
4. symulacji bluzki wirtualnej z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S , w programie Blender,
5. symulacji bluzki wirtualnej z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} , w programie Blender.

Przekroje poręczne: PPKP, PPT, PPB zeskanowanej bluzki rzeczywistej porównano kolejno z odpowiednimi przekrojami poprzecznymi (PP) symulacji bluzek otrzymanych w programie Blender z wykorzystaniem współczynników F_{MB} , F_S , F_{KES} oraz wersji produkcyjnej Blendera (bez wprowadzania współczynnika podatności na formowanie F).

Poniżej Autor zaprezentuje wykresy korelacji dla zobrazowania zależności między cechami. Do tego zadania wykorzystano program Statystyka, który posłużył do sporządzenia wykresów korelacji.

4.1.1 Porównanie przekrojów poprzecznych konturów bluzki dla tkaniny 01B

Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13 przedstawiają zestawione przekroje poprzeczne na wysokości klatki piersiowej PPKP, talii PPT i bioder PPB dla tkaniny 01B dla danych w kierunku osnowy i po skosie 45°. W tabelach poniżej porównano przekroje poprzeczne klatki piersiowej, talii i bioder dla skanu, czyli „wzorca” z symulacjami bluzki z wykorzystaniem programu Blender i wprowadzonymi współczynnikami podatności na formowanie. Analizę porównawczą przedstawiono tylko dla tkaniny 01B, ponieważ układalność tkaniny dla wariantu 01B była najbardziej zbliżona do układalności tkaniny rzeczywistej, czyli skanu bluzki. Dla pozostałych wariantów tkanin tj.: 02P i 03Z tabele zaprezentowano w rozdziale Załącznik nr 7 i Załącznik nr 8.

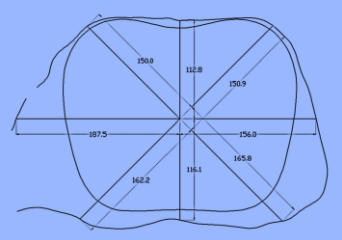
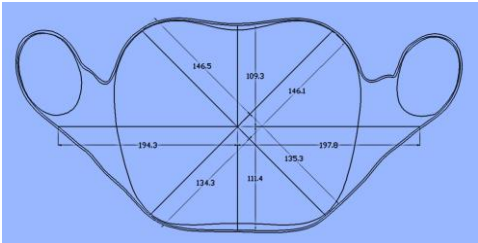
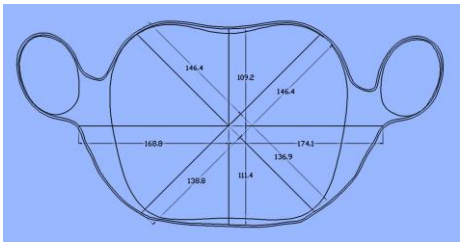
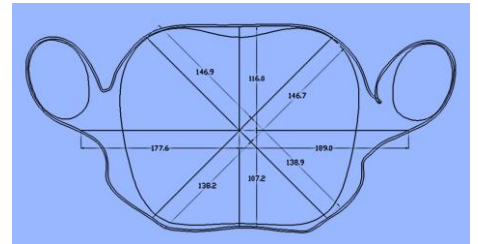
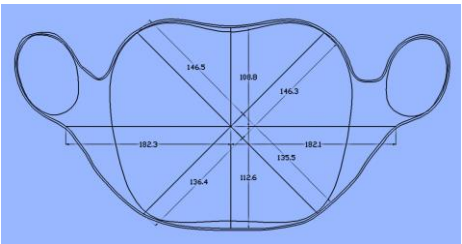
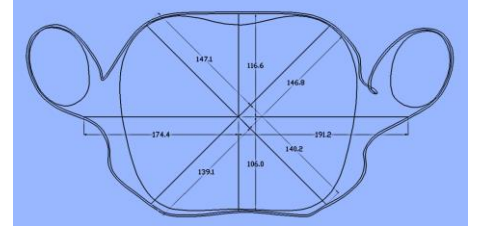
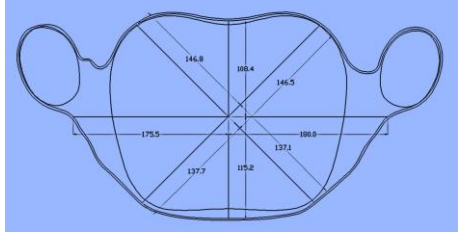
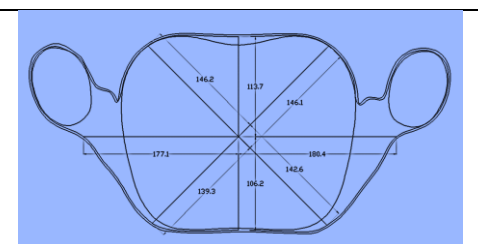
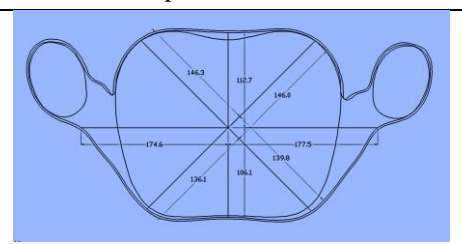
Dla przekroju poprzecznego na wysokości klatki piersiowej dla wszystkich symulacji występuje obrys rąk awatara, jednak dla skanu bluzki tego obrysu brak. Bluzki poddane symulacji układają się specyficznie ze względu na siły grawitacji, jakie działają w

programie Blender. Można stwierdzić, że siły grawitacji są bardzo zawyżone w porównaniu do siły grawitacji rzeczywistej. Np. tkanina 01B w symulacji posiadała bardzo duże obciążenie, skutkiem czego wirtualna tkanina bluzki wyglądała na obciążoną w dół. W symulacjach podkrój pachy obniżył się do wysokości linii klatki piersiowej i w ten sposób przekroje poprzeczne bluzki posiadają dołączony obrys rąk.

4.1.1.1 Porównanie przekrojów poprzecznych na wysokości klatki piersiowej (PPKP) dla tkaniny 01B

Tabela 11 prezentuje przekrój poprzeczny klatki piersiowej dla skanu bluzki i wszystkich wariantów symulacji bluzki 01B uzyskane dla wyników KES-FB w kierunku osnowy i po skosie 45°. Przekroje poprzeczne (PP) zawierają w środku kontur awatara i zewnętrzny kontur bluzki 01B. Linie znajdujące się w środku przekroju poprzecznego klatki piersiowej (PPKP) to długości odcinków mierzonych pod kątem od 0° co 45° aż do 315°. Zestawienie to ma na celu porównanie PPKP dla wszystkich symulacji bluzki 01B do skanu bluzki 01B.

Tabela 11. Zestawienie przekrojów poprzecznych klatki piersiowej (PPKP) dla skanu bluzki (wzorzec) oraz PP symulacji w programie Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie

PPKP skanu bluzki 01B - WZORZEC	
	
PPKP symulacji bluzki 01B w Blenderze osnowa	PPKP symulacji bluzki 01B w Blenderze po skosie 45
	
PPKP symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_{MB} osnowa	PPKP symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_{MB} po skosie 45
	
PPKP symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_s osnowa	PPKP symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_s po skosie 45
	
PPKP symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_{KES} osnowa	PPKP symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_{KES} po skosie 45
	

Dla przekroju poprzecznego symulacji bluzki 01B na wysokości klatki piersiowej (PPKP) z zastosowaniem programu Blender dla danych w kierunku osnowy i po skosie 45° , kontur bluzki wygląda regularnie i symetrycznie bez fałd i marszczeń. Przód i tył bluzki mocno przylega do ciała awatara w przeciwieństwie do PPKP skanu bluzki rzeczywistej 01B.

Dla symulacji bluzki 01B w kierunku osnowy, z wprowadzonym współczynnikiem podatności na formowanie F_{MB} PPKP posiada nieregularny kształt, występują fałdy, które zbliżone są wyglądem do PPKP skanu bluzki w tylnej części. Kontur (PPKP) symulacji bluzki 01B dla kierunku po skosie 45° różni się znacznie od tego w kierunku osnowy i PPKP bluzki skanowanej, posiada regularny kształt bez fałd i załamań tkaniny.

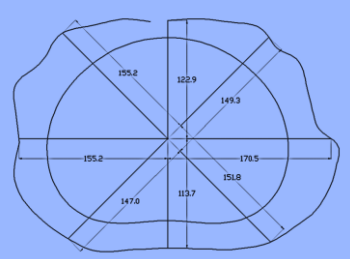
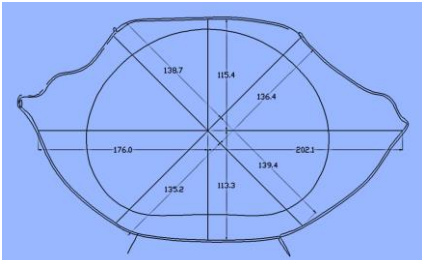
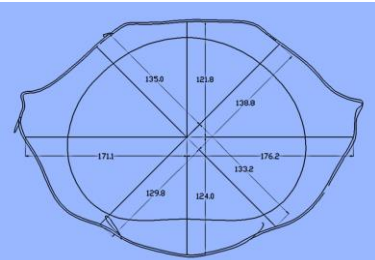
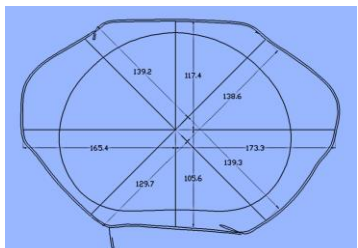
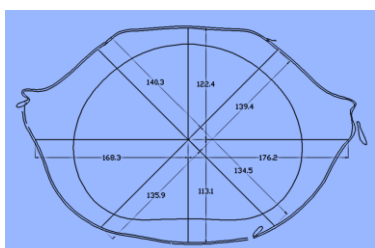
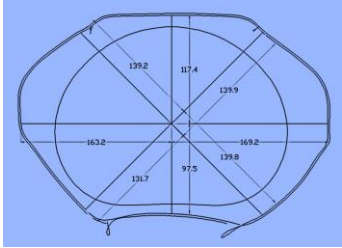
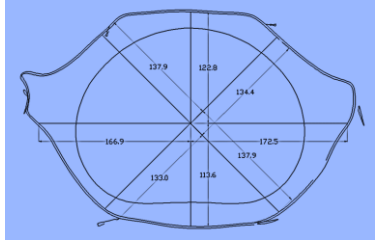
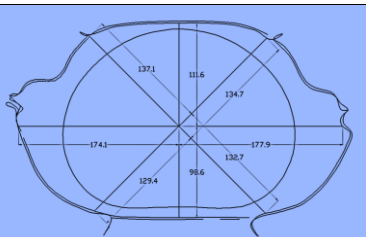
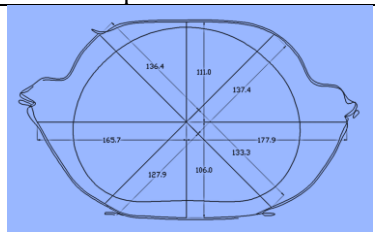
Dla PPKP z symulacji bluzki 01B z wprowadzonym współczynnikiem podatności na formowanie F_s dla danych w kierunku osnowy, kontur przyjmuje kształt podobny do wzorca (PPKP skanu bluzki) i posiada nieregularny kształt konturu bluzki. Natomiast PPKP symulacji bluzki dla danych w kierunku 45° otrzymany kształt konturu bluzki jest bardzo regularny, nie posiada fałd.

W przypadku PPKP z symulacji bluzki 01B ze współczynnikiem F_{KES} symulacja bluzki dla tkaniny 01B dla danych w kierunku osnowy i 45° - kontur bluzek wygląda regularnie i symetrycznie, bez fałd i marszczeń. Przód i tył bluzki mocno przylega do ciała awatara w przeciwieństwie do PPKP skanu bluzki 01B.

4.1.1.2 Porównanie przekrojów poprzecznych na wysokości talii (PPT) dla tkaniny 01B

Tabela 12 prezentuje przekroje poprzeczne konturu bluzki na wysokości talii dla skanu i wszystkich wariantów symulacji bluzki 01B dla danych w kierunku osnowy i 45° . Symulacje przeprowadzono kolejno dla programu Blender bez współczynnika podatności na formowanie i dla trzech nowych wariantów, gdzie przeprowadzono symulacje z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} , F_s , F_{KES} . Poniżej przedstawione (PPT) kontury bluzki 01B dla danych w kierunku osnowy i po skosie 45° prezentują układalność tkaniny na sylwetce w programie 3D.

Tabela 12. Zestawienie przekrojów poprzecznych talii (PPT) dla bluzki zeskanowanej (wzorzec) oraz PP symulacji bluzek otrzymanych w programie Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie

PPT skanu bluzki 01B - WZORZEC	
	
PPT symulacji bluzki 01B w Blenderze osnowa	PPT symulacji bluzki 01B w Blenderze po skosie 45
	
PPT symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_{MB} osnowa	PPT symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_{MB} po skosie 45
	
PPT symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_s osnowa	PPT symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_s po skosie 45
	
PPT symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_{KES} osnowa	PPT symulacji bluzki 01B w Blenderze z F_{KES} po skosie 45
	

Przekrój poprzeczny na wysokości talii (PPT) symulacji bluzki 01B z zastosowaniem programu Blender dla danych w kierunku osnowy i po skosie 45° wygląda bardzo asymetrycznie. Kontur bluzki PPT dla kierunku osnowy na tyle wygląda gładko, nie posiada żadnych fałd, natomiast boki konturu bluzki są rozciągnięte, ponieważ podczas przymiarki bluzki w trakcie symulacji, ręce awatara są wyciągnięte do przodu, co powoduje ruch tkaniny w kierunku do przodu. Dla PPT z symulacji (Blender bez użycia współczynnika) dla danych w kierunku po skosie 45° kształt PPT jest już bardziej zbliżony do wzorca, brak tak znaczącego rozciągnięcia kształtów na boki.

Dla symulacji bluzki 01B z wprowadzonym współczynnikiem podatności na formowanie F_{MB} PPT dla danych w kierunku osnowy kontur bluzki posiada bardzo zbliżony kształt do konturu PPT skanu bluzki. Co więcej, kształt tego PPT jest ulokowany blisko ciała awatara, mimo pozycji rąk wyciągniętych do przodu. Dla danych w kierunku po skosie 45° kontur bluzki (PPT) różni się znacznie od konturów bluzki dla danych w kierunku osnowy i wzorca (skanu bluzki), posiada wyeksponowany kształt boków.

Dla symulacji bluzki 01B z wprowadzonym współczynnikiem podatności na formowanie F_S PPT dla danych w kierunku osnowy kontur bluzki zachowuje się podobnie jak PPT - kontur skanu bluzki. Przy symulacji bluzki 01B z wprowadzonym współczynnikiem podatności na formowanie F_S PPT dla danych w kierunku 45° kształt konturu bluzki jest „nienaturalny”, linie boków bluzki są bardzo wyciągnięte do przodu i tkanina nie powraca do położenia wyjściowego, czyli równoległe do boków ciała awatara.

Dla symulacji bluzki 01B z wprowadzonym współczynnikiem podatności na formowanie F_{KES} PPT dla danych w kierunku osnowy i 45°, kształt konturu bluzki różni się znacząco od PPT skanu bluzki, boki symulacji bluzki pozostają wyciągnięte w bok, co może świadczyć o nadaniu zbyt dużej sztywności wirtualnej tkaninie w symulacji.

4.1.1.3 Porównanie przekrojów poprzecznych na wysokości bioder (PPB) dla tkaniny 01B

Tabela 13 prezentuje przekroje poprzeczne bioder PPB dla skanu bluzki i wszystkich wariantów symulacji bluzki 01B w kierunku osnowy i po skosie 45°. Symulacje przeprowadzono kolejno dla programu Blender bez współczynnika podatności na formowanie i dla trzech nowych wariantów, gdzie prowadzono symulacje z wykorzystaniem współczynników podatności na formowanie F_{MB} , F_S , F_{KES} . Na pięciu PPB z symulacji bluzek jest widoczny brak ciągłości linii konturu bluzki, co wynika z zachowania się tkaniny po wprowadzeniu mechanicznych parametrów tj.: B, WT, WC, G do programu Blender. Symulacja przymiarki bluzki na awatarze spowodowała wyciągnięcie bluzki w kierunku przodu oraz ku dołowi wraz z wyciągnięciem rąk w kierunku do przodu, oznaczało to utratę równowagi pomiędzy przodem a tyłem bluzki na linii dołu, a tym samym brak danych na PPB na części tyłu bluzki.

Tabela 13. Zestawienie przekrojów poprzecznych bioder (PPB) dla skanu bluzki (wzorec), oraz PP symulacji bluzek otrzymanych w programie Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie

Skan biodra 01B WZORZEC	
Blender biodra 01B	Blender biodra 01B 45
F _{MB} biodra 01B osnowa	F _{MB} biodra 01B 45
F _s biodra 01B osnowa	F _s biodra 01B po skosie 45
F _{KES} biodra 01B osnowa	F _{KES} biodra 01B po skosie 45

Dla symulacji bluzki na wysokości bioder (PPB) z zastosowaniem programu Blender w przypadku bluzki 01B w kierunku osnowy i po skosie 45°, kontur bluzki jest bardzo nieregularny i bardzo odbiega swoim wyglądem od konturu skanu bluzki 01B.

Dla symulacji bluzki z wprowadzonym współczynnikiem podatności na formowanie F_{MB} kontur bluzki 01B dla danych w kierunku osnowy posiada bardzo wypukły kształt w przedniej części okolic dołu brzucha. Występuje bardzo duża fałda, której nie obserwujemy w przypadku PPB skanu bluzki 01B. Dla danych w kierunku po skosie 45° PPB bluzki różni się znacznie od PPB bluzki dla danych w kierunku osnowy i skanu bluzki (wzorca), posiada duże fałdy na tyle bluzki.

Porównanie PPB symulacji bluzki 01B z wprowadzonym współczynnikiem podatności na formowanie F_s dla danych w kierunku osnowy i po skosie 45° pozwala stwierdzić podobny rezultat, jak w przypadku PPB z symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} .

W przypadku ostatniej symulacji bluzki 01B z wprowadzonym współczynnikiem podatności na formowanie F_{KES} PPB dla danych w kierunku osnowy i po skosie 45°, jest ona bardzo zbliżona do PPB skanu bluzki (wzorca). Miejsca fałd i zachowanie się tkaniny podczas symulacji są zbliżone do kształtu PPB wzorca.

Cała przedstawiona powyżej procedura dla bluzki z tkaniny 01B została powtórzona w przypadku analizy porównawczej bluzki z tkaniny 02P oraz 03Z, a której wyniki zamieszczone zostały w Załączniku nr 7 i Załączniku nr 8.

Na podstawie analizy porównawczej PP konturów bluzek stwierdzono, że wyniki uzyskane dla danych w kierunku po skosie 45° znacznie odbiegają od wzorca, dlatego w dalszej części analizy nie zostaną uwzględnione. Porównanie przekrojów poprzecznych w innym układzie, przedstawiają Załączniki nr 9 do 12, gdzie pokazano zestawienie konturów: manekina, bluzki rzeczywistej i bluzki wirtualnej.

4.2 Analiza porównawcza - ilościowa bluzki rzeczywistej (zeskanowanej) z bluzką wirtualną

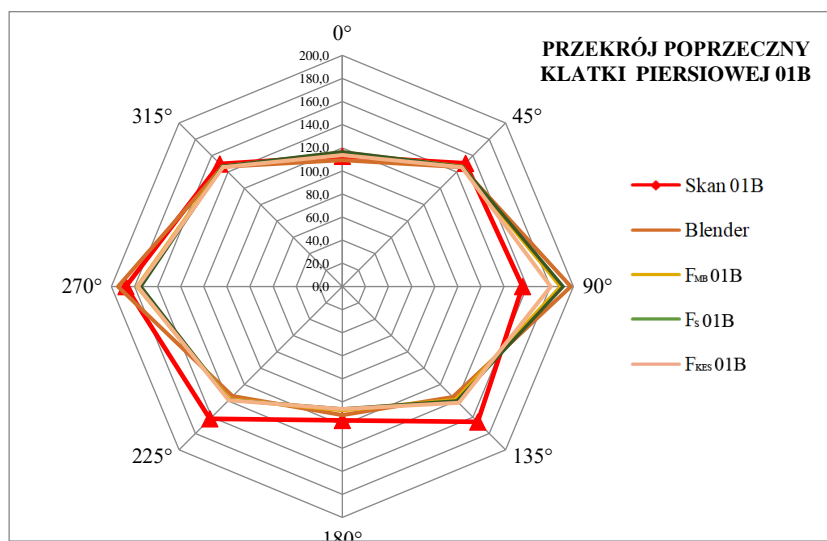
Wizualna analiza wyników długości odcinków od środka wybranego przekroju poprzecznego do konturu bluzki, dla badanego rodzaju tkaniny została przedstawiona w formie wykresów radarowych. Wykresy radarowe służą do wykreślenia dwuwymiarowego układu wykorzystującego osie promieniowe, na których można przedstawić wiele zmiennych. Wykresy radarowe to porównanie zmiennych ilościowych. Są przydatne do wizualizowania zmiennych, które mają podobne wartości, lub dla których istnieją wartości odstające. Wykresy radarowe to szereg ramion, przy czym każde z nich reprezentuje jedną zmienną. Wykresy radarowe są również przydatne do określenia, które zmienne w zestawie danych uzyskują wysokie i niskie oceny. Poniżej Autor porównuje PP skanów bluzek wykonanych z tkanin 01B 02P i 03Z z PP symulacji tych bluzek z

wykorzystaniem programu Blender w 4 wersjach: wersja producencka niezawierająca w modelu tkaniny współczynnika podatności na formowanie i 3 wersji Blendera zawierającymi modele tkaniny z 3 badanymi współczynnikami podatności na formowanie.

Na wykresie radarowym wartości są zaznaczane na osiach rozłożonych promieniście od środka wykresu. Oś pozioma jest okręgiem, a każda kategoria (kąty: 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315) ma osobną oś pionową. Taki sposób przedstawienia danych pozwala na jednoczesne porównywanie ze sobą wielu wartości.

4.2.1 Wykresy radarowe analizy przekrojów poprzecznych bluzki dla tkaniny 01B

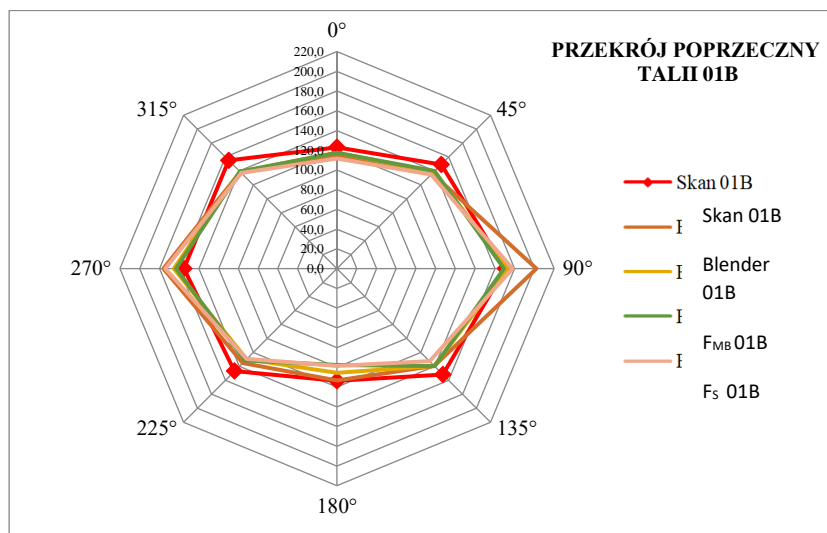
Analizę przekrojów poprzecznych bluzki na wysokości: klatki piersiowej, talii i bioder dla tkaniny 01B przedstawiają: Rysunek 62, Rysunek 63 oraz Rysunek 64. Prezentowane wykresy przedstawiają połączone prostymi wartości, które rozmieszczone są na osiach promienistych (ramionach) w odległości od środka badanych przekrojów poprzecznych do konturu bluzki na wskazanej wysokości. PP skanu bluzki oznaczony jest linią czerwoną, a następnie, kolejno wartości na osiach promieniowych dla symulacji bluzek w programie Blender bez i z współczynnikami F_{MB} , F_S , i F_{KES} dla tkaniny badanej wzdłuż osnowy.



Rysunek 62. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych klatki piersiowej (PPKP) do konturu bluzki 01B

Wykres radarowy dla tkaniny o kodzie 01B (Rysunek 62) przedstawia długości odcinków „promieni” dla przekroju poprzecznego na wysokości klatki piersiowej, gdzie można wnioskować, że najbardziej zbliżone długości odcinków przekrojów poprzecznych klatki piersiowej (PPKP) skanu bluzki wykazuje PPKP symulacji bluzki ze współczynnikiem

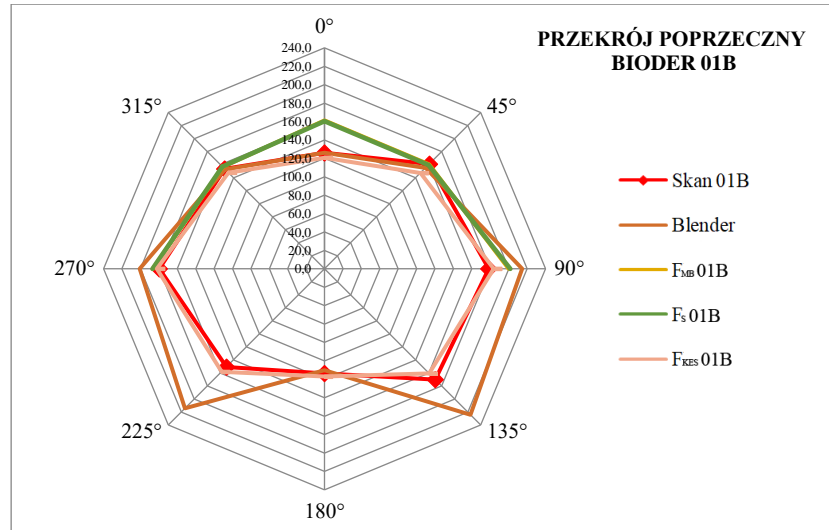
podatności na formowanie F_{KES} . Długości odcinków „promieni” dla przekroju poprzecznego na wysokości klatki piersiowej dla kątów 90° i 270° , są bardzo zbliżone do PPKP skanu, natomiast dla kątów 0° , 45° , i 315° PPKP symulacji bluzki z F_{KES} pokrywa linię czerwoną skanu, czyli układalność tkaniny dla symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika F_{KES} jest bardzo podobna. Dla kątów 135° , 180° i 225° zauważa się zbliżoną układalność tkaniny wirtualnej z użyciem F_{KES} (kolor beżowy) do układalności zeskanowanej tkaniny rzeczywistej (kolor czerwony).



Rysunek 63. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych talii (PPT) do konturu bluzki 01B

Rysunek 63 przedstawia wyniki długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych talii (PPT) do konturu bluzki 01B. Na podstawie tego wykresu radarowego można wnioskować, że najbardziej zbliżone długości „promieni” do wzorca wykazuje PPT symulacji otrzymanej z użyciem współczynnika podatności na formowanie F_s . Wartości dla kątów 90° , 270° i 315° pokrywają się z wartościami wzorca (skanu bluzki), co oznacza, że są najbardziej zbliżone do wartości skanu bluzki. Dla kątów 135° , 180° i 225° zauważa się zbliżone wartości PPT bluzki skanowanej i PPT symulacji bluzki współczynnikiem F_s . Natomiast dla kątów 0° i 45° , wartości PPT na osiach promieniowych, symulacji bluzki z programu Blender w wersji produkcyjnej są najbardziej zbliżone do wzorca (skanu bluzki).

Wykres radarowy dla tkaniny o kodzie 01B (Rysunek 64) przedstawia długości odcinków („promieni”) dla przekroju poprzecznego na wysokości bioder (PPB). Na jego podstawie można wnioskować, że najbardziej zbliżone długości odcinków PPB skanu bluzki wykazuje PPB symulacji bluzki ze współczynnikiem podatności na formowanie F_{KES} .

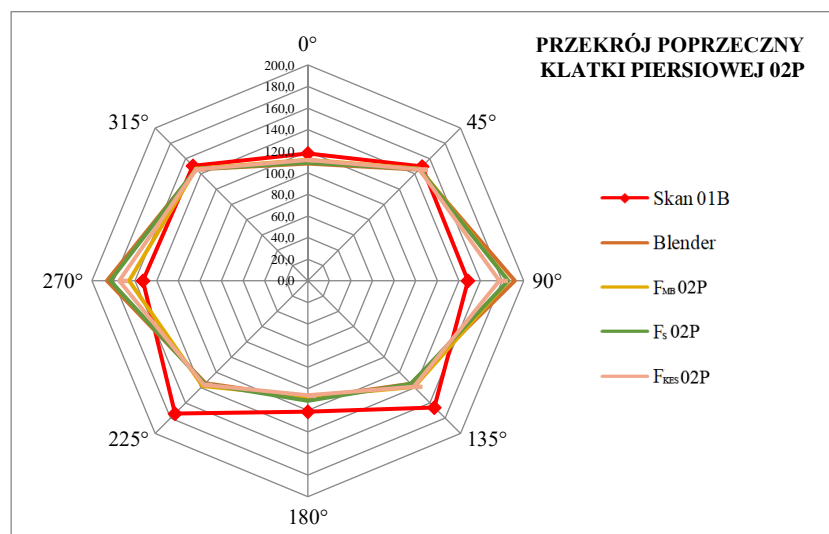


Rysunek 64. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych bioder (PPB) do konturu bluzki 01B

Wartości na osiach promieniowych dla kątów 90°, 135°, 180°, 225°, 270° i 315° pokrywają się całkowicie z wartościami wzorca skanu bluzki (kolor czerwony wielokąta), co stanowi najbardziej zbliżoną układalność tkaniny w programie 3D do układalności rzeczywistej. Natomiast dla kątów 0°, 45° wartości „promieni” reprezentujące PPB symulacji bluzki z programu Blender są najbardziej zbliżone do PPB skanu bluzki.

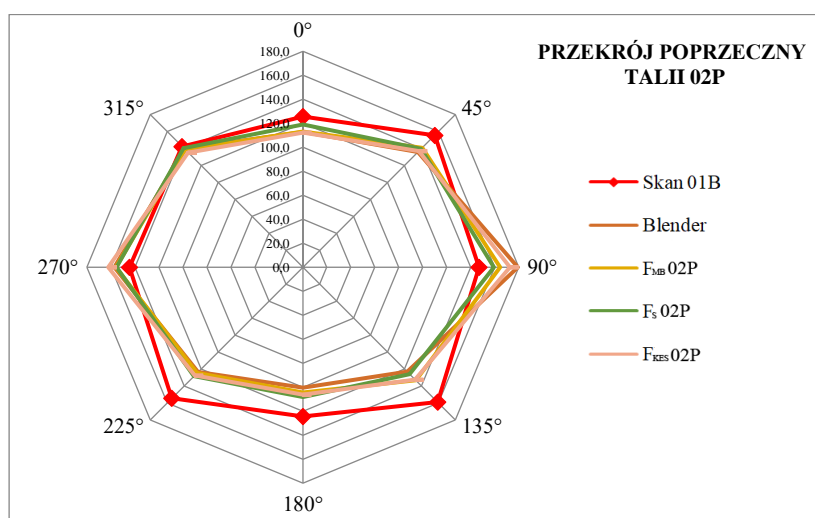
4.2.2 Wykresy radarowe analizy przekrojów poprzecznych bluzki dla tkaniny 02P

Analizę przekrojów poprzecznych bluzki na wysokości: klatki piersiowej, talii i bioder dla tkaniny 02P przedstawiają: Rysunek 65, Rysunek 66 oraz Rysunek 67. Wartości prezentowane są w analogiczny sposób, jak w przypadku bluzki 01B.



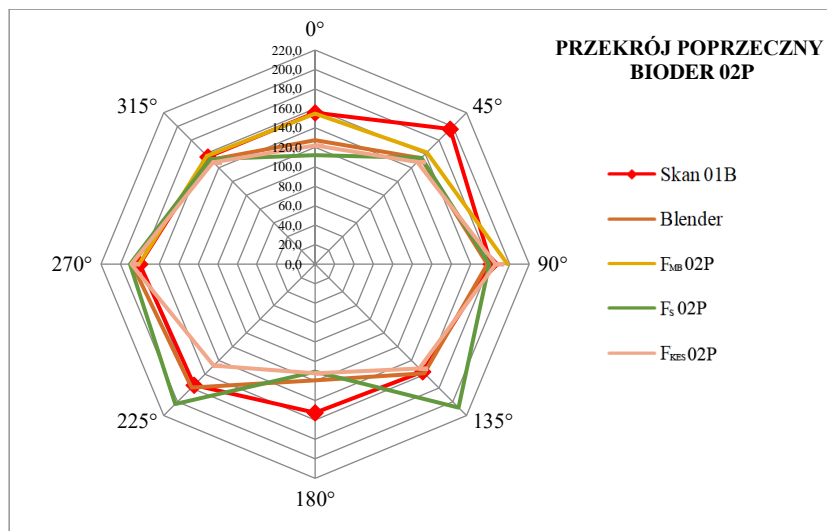
Rysunek 65. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych klatki piersiowej (PPKP) do konturu bluzki 02P

Wykres radarowy dla tkaniny o kodzie 02P (Rysunek 65) przedstawia długości odcinków („promieni”) dla przekroju poprzecznego na wysokości klatki piersiowej (PPKP), na podstawie którego można wnioskować, że najbardziej zbliżone długości odcinków PPKP skanu bluzki wykazuje PPKP symulacji bluzki ze współczynnikiem podatności na formowanie F_{KES} . Długości odcinków („promieni”) dla przekroju poprzecznego na wysokości klatki piersiowej dla kątów 0° , 45° , 90° , i 315° pokrywają się z wartościami dla PPKP skanu, gdzie najbliższą położoną jest wartość dla kąta 90° . Natomiast dla kątów 135° , 180° , 225° i 270° zauważa się, że uzyskane wartości mogą świadczyć o zbliżonej układalności tkaniny z symulacji z użyciem F_{KES} (kolor beżowy) i układalności tkaniny zeskanowanej (kolor czerwony).



Rysunek 66. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych talii (PPT) do konturu bluzki 02P

Wykres radarowy dla tkaniny o kodzie 02P (Rysunek 66) przedstawia wyniki długości odcinków („promieni”) od środka przekrojów poprzecznych talii (PPT) do konturu bluzki. Na podstawie tego wykresu można wnioskować, że najbardziej zbliżone długości „promieni” do wzorca wykazuje PPT symulacji otrzymanej z użyciem współczynnika podatności na formowanie F_S . Wartości promieni dla kątów 0° , 45° , 90° , 270° i 315° pokrywają się z wartościami długości promieni wzorca (skanu bluzki), co oznacza, że są najbardziej zbliżone do wartości skanu bluzki, przy czym dla kątów 90° i 270° są one najbardziej zbliżone do wzorca. Dla kątów 135° , 180° i 225° zauważa się zbliżone wartości PPT bluzki skanowanej i PPT symulacji bluzki współczynnikiem F_{KES} .

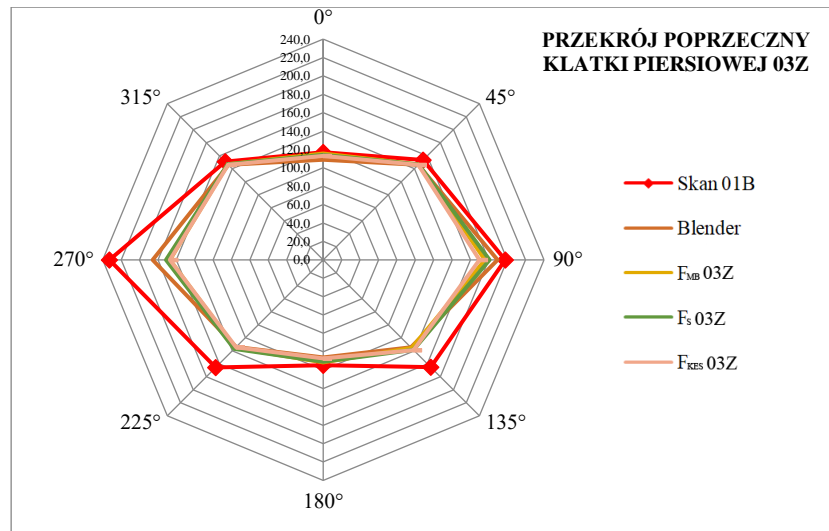


Rysunek 67. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych bioder (PPB) do konturu bluzki 02P

Wykres radarowy dla tkaniny o kodzie 02P (Rysunek 67) przedstawia długości odcinków „promieni” dla przekroju poprzecznego na wysokości bioder (PPB). Na jego podstawie można wnioskować, że najbardziej zbliżone długości odcinków PPB skanu bluzki wykazuje PPB symulacji bluzki ze współczynnikiem podatności na formowanie F_{MB} oraz PPB symulacji bluzki w programie Blender bez wprowadzonego do modelu tkaniny współczynnika podatności na formowanie. Wartości na osiach promieniowych PPB symulacji bluzki ze współczynnikiem podatności na formowanie F_{MB} dla kątów 90°, 270° i 315° pokrywają się całkowicie z wartościami wzorca skanu bluzki (kolor czerwony wielokąta). Natomiast dla kątów 135°, 180° i 225° wartości „promieni” reprezentujące PPB symulacji bluzki z programu Blender (bez współczynnika podatności na formowanie) są najbardziej zbliżone do PPB skanu bluzki.

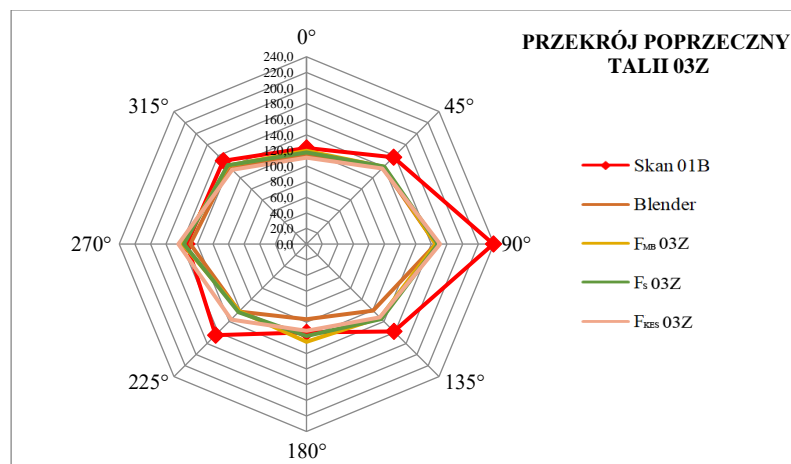
4.2.3 Wykresy radarowe analizy przekrojów poprzecznych bluzki dla tkaniny 03Z

Analizę przekrojów poprzecznych bluzki na wysokości: klatki piersiowej, talii i bioder dla tkaniny 03Z przedstawiają: Rysunek 68, Rysunek 69 i Rysunek 70.



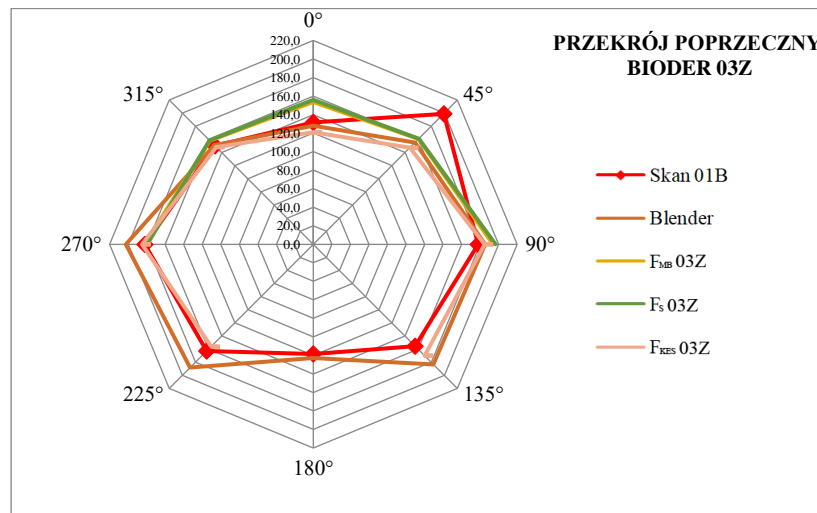
Rysunek 68. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych klatki piersiowej (PPKP) do konturu bluzki 03Z

Wykres radarowy dla tkaniny o kodzie 03Z (Rysunek 68) przedstawia długości odcinków („promieni”) dla przekroju poprzecznego na wysokości klatki piersiowej (PPKP), na podstawie którego można wnioskować, że najbardziej zbliżone długości odcinków PPKP skanu bluzki wykazuje PPKP symulacji bluzki ze współczynnikiem podatności na formowanie F_{KES} oraz PPKP symulacji bluzki z programu Blender (bez współczynnika podatności na formowanie). Długości odcinków „promieni” dla przekroju poprzecznego na wysokości klatki piersiowej symulacji bluzki ze współczynnikiem podatności na formowanie F_{KES} dla kątów 0°, 45°, 135°, 180° i 315° pokrywają się z wartościami dla PPKP skanu. Natomiast dla kątów 90° i 225°, zauważa się, że PPKP skanu bluzki i w porównaniu do PPKP symulacji bluzki z programu Blender (bez współczynnika podatności na formowanie) uzyskały zbliżoną wartość.



Rysunek 69. Długości „promieni” odcinków od środka przekrojów poprzecznych talii (PPT) do konturu bluzki 03Z

Wykres radarowy dla tkaniny o kodzie 03Z (Rysunek 69) przedstawia wyniki długości odcinków („promieni”) od środka przekrojów poprzecznych talii (PPT) do konturu bluzki. Na podstawie tego wykresu można wnioskować, że długości „promieni” wzorca PPT wykazują duże zróżnicowanie w stosunku do PPT symulacji otrzymanych z użyciem współczynników podatności na formowanie. Wartości PPT symulacji otrzymanej z użyciem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla kątów 0° , 270° i 315° są najbardziej zbliżone do długości „promieni” PPT wzorca. Wśród tych kątów 0° i 315° są najbardziej zbliżone do wartości skanu bluzki. Dla kątów 45° , 135° i 315° zauważa się zbliżone wartości PPT bluzki skanowanej i PPT symulacji bluzki współczynnikiem F_s , przy czym w przypadku kąta 270° - zbliżone wartości odnotowano dla symulacji bluzki z programu Blender (bez współczynnika podatności na formowanie). Dla kątów 180° i 225° wartości na osiach promieniowych symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} są zbliżone do wzorca (skanu bluzki).



Rysunek 70. Długości „promieni” odcinków od środka przekrojów poprzecznych bioder (PPB) do konturu bluzki 03Z

Rysunek 70 przedstawia wykres radarowy dla tkaniny o kodzie 03Z z długościami odcinków („promieni”) dla przekroju poprzecznego na wysokości bioder (PPB). Na jego podstawie można wnioskować, że długości odcinków PPB skanu bluzki i PPB symulacji bluzki ze współczynnikami podatności na formowanie oraz PPB symulacji bluzki w programie Blender bez wprowadzonego do modelu tkaniny współczynnika podatności na formowanie są niekompletne (brak wartości w 5 przypadkach na tyle bluzki). Wartości na osiach promieniowych PPB symulacji bluzki ze współczynnikami podatności na formowanie F_{KES} dla kątów 45° , 90° , 135° , 225° , 270° i 315° pokrywają się z wartościami wzorca skanu bluzki (kolor czerwony wielokąta).

Podsumowanie wizualizacji badań na podstawie analizy wykresów radarowych przedstawia Tabela 14 w postaci zestawienia częstości występowania zgodności wartości

PP skanu bluzki i PP uzyskanych dla wariantów symulacji wirtualnych, uwzględniające także rodzaj badanej tkaniny.

Tabela 14. Zestawienie częstości występowania wartości wariantów symulacji bluzki pokrywającymi się ze wzorcem (skan bluzki).

	01B				02P				03Z			
	Blender	F _{MB}	F _S	F _{KES}	Blender	F _{MB}	F _S	F _{KES}	Blender	F _{MB}	F _S	F _{KES}
PPKP	0	0	0	8	0	4	0	4	2	0	0	6
PPT	2	0	0	6	0	0	5	3	1	2	3	2
PPB	2	0	0	6	3	5	0	0	2	0	0	6
Suma	4	0	0	20	3	9	5	7	5	2	3	14

Na podstawie powyższych wykresów radarowych możemy wnioskować, że dla tkaniny 01B najbardziej zbliżoną z układalnością bluzki skanowanej wykazuje układalność w symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika F_{KES}. Drugą w kolejności najlepszą symulacją bluzki z wykorzystaniem algorytmu z współczynnikiem F_{MB}.

Wnioski wyciągnięte na podstawie wykresów radarowych odnośnie częstości występowania wartości na osiach promieniowych PP bluzki wzorca z wartościami PP bluzek wirtualnych pokrywają się z wnioskami z rozdziału 4.1.1.

4.2.4 Wyznaczanie różnic badanych cech

Inny sposób przedstawienia powyższych danych zawarto w rozdziale 4.2. Poniższy rozdział koncentruje się na różnicy między odcinkami o długości mierzonej od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki zeskanowanej, (zwanych dalej dla uproszczenia „promieniami”), a długością „promieni” symulacji bluzki z wykorzystaniem (lub nie) zaproponowanych współczynników podatności na formowanie do konturu danej bluzki wirtualnej. Autor ocenia zmiany długości (różnicę) ww. odcinków (porównując długości tych odcinków w danym przekroju poprzecznym) i na tej podstawie wnioskuje, który współczynnik wykorzystany w symulacji bluzki jest najbliższy układalności (wzorca) - skanu bluzki na manekinie. Minimalna różnica długości odcinków świadczy o najlepszym odwzorowaniu bluzki rzeczywistej w przestrzeni 3D.

Tabela 15 przedstawia różnice w długości odcinków „promieni” od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki dla tkaniny 01B. Kolorem czerwonym wyróżniono najmniejsze różnice pomiędzy długościami „promieniami” (odległość od środka przekroju poprzecznego i konturu skanu bluzki), a „promieniami” symulacji bluzki z wykorzystaniem zaproponowanych współczynników podatności na formowanie. Częstość występowania najmniejszych różnic zbadano dla każdego przekroju poprzecznego tj. PPKP, PPT, PPB. Dla tkaniny 01B najmniejsza różnica w długości odcinków od środka

przekroju poprzecznego do konturu bluzki występuje dla symulacji z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} .

Tabela 15. Zestawienie różnic w długości „promieni” dla tkaniny 01B

	Kąt lokalizacji „promienia” od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki	01 B Skan Blender	01B Skan F_{MB}	01B Skan F_S	01B Skan F_{KES}	MIN	MAX
PRZEKRÓJ PORZECZNY NA WYSOKOŚCI KLATKI PIERSIOWEJ	0°	3.50	3.20	3.80	0.90	0.9	3.8
	45°	4.80	4.20	4.10	4.80	4.1	4.8
	90°	41.80	33.00	35.20	24.40	24.4	41.8
	135°	30.50	26.90	25.60	23.20	23.2	30.5
	180°	4.70	8.90	10.10	9.90	4.7	10.1
	225°	27.90	24.00	23.10	22.90	22.9	27.9
	270°	6.80	9.90	13.10	10.40	6.8	13.1
	315°	3.50	3.10	2.90	3.80	2.9	3.8
	Częstość	2	0	2	4	F_{KES}	
PRZEKRÓJ PORZECZNY NA WYSOKOŚCI TALII	0°	7.50	5.50	5.50	11.30	5.5	11.3
	45°	12.90	10.70	9.40	14.60	9.4	14.6
	90°	31.60	2.80	1.30	7.40	1.3	31.6
	135°	12.40	12.50	12.00	19.10	12	19.1
	180°	0.40	8.10	16.20	15.10	0.4	16.2
	225°	11.80	17.30	15.30	17.60	11.8	17.6
	270°	20.80	10.20	8.00	18.90	8	20.8
	315°	16.50	16.00	16.00	18.10	16	18.1
	Częstość	2	1	6	0	F_S	
PRZEKRÓJ PORZECZNY NA WYSOKOŚCI BIODER	0°	0.00	35.10	34.30	5.50	0	35.1
	45°	6.10	0.50	1.40	13.80	0.5	13.8
	90°	36.30	21.70	23.40	5.40	5.4	36.3
	135°	54.00	brak danych	brak danych	9.60	9.6	54
	180°	3.40	brak danych	brak danych	3.50	3.4	3.5
	225°	63.70	brak danych	brak danych	7.50	7.5	63.7
	270°	21.30	7.10	7.40	2.70	2.7	21.3
	315°	0.90	2.80	3.30	6.00	0.9	6
	Częstość	3	1	0	4	F_{KES}	
CZĘSTOŚĆ WYSTĘPOWANIA DANEGO WARIANTU SYMULACJI BLUZKI 01B (wszystkie przekroje poprzeczne)		7	2	8	8	F_S i F_{KES}	

Najwyższa częstość występowania najmniejszej różnicy pomiędzy wzorcem a danym wariantem symulacji wynosi 4 dla PPKP i PPB dla symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} . Dla PPT najwyższa częstość

występowania danego wariantu symulacji wskazuje na symulację bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s .

Tabela 16. Zestawienie różnic w długości „promieni” dla tkaniny 02P

	Kąt lokalizacji „promienia” od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki	02P Skan Blender	02P Skan F_{MB}	02P Skan F_s	02P Skan F_{KES}	MIN	MAX
PRZEKRÓJ PORZECZNY NA WYSOKOŚCI KLATKI PIERSIOWEJ	0°	9.40	37.80	8.60	6.10	6.10	37.80
	45°	4.10	1.50	3.30	3.90	1.50	4.10
	90°	43.40	19.90	37.20	29.10	19.90	43.40
	135°	31.10	17.80	31.00	27.00	17.80	31.10
	180°	12.50	66.70	10.10	15.30	10.10	66.70
	225°	39.70	14.80	39.00	37.70	14.80	39.70
	270°	33.30	15.10	30.20	21.90	15.10	33.30
	315°	4.40	21.20	4.00	4.30	4.00	21.20
	Częstość	0	5	2	1	F_{MB}	
PRZEKRÓJ PORZECZNY NA WYSOKOŚCI TALII	0°	12.80	42.40	6.60	13.40	6.60	42.40
	45°	19.80	6.10	16.00	18.70	6.10	19.80
	90°	32.40	5.50	12.40	25.80	5.50	32.40
	135°	35.80	8.90	33.00	26.60	8.90	35.80
	180°	24.00	50.10	16.20	18.20	16.20	50.10
	225°	31.00	19.80	26.00	27.10	19.80	31.00
	270°	12.60	13.50	10.80	17.70	10.80	17.70
	315°	2.70	17.10	1.80	7.10	1.80	17.10
	Częstość	0	4	4	0	F_{MB} i F_s	
PRZEKRÓJ PORZECZNY NA WYSOKOŚCI BIODER	0°	28.20	41.40	43.60	33.60	28.20	43.60
	45°	42.30	18.60	41.80	47.90	18.60	47.90
	90°	3.90	41.40	1.80	4.80	1.80	41.40
	135°	2.40	brak danych	52.10	4.90	2.40	52.10
	180°	33.20	brak danych	42.10	40.50	33.20	42.10
	225°	3.60	brak danych	27.70	28.10	3.60	28.10
	270°	7.90	25.00	10.00	8.70	7.90	25.00
	315°	4.20	brak danych	3.20	7.80	3.20	7.80
	Częstość	5	1	2	0	Blender	
CZĘSTOŚĆ WYSTĘPOWANIA DANEGO WARIANTU SYMULACJI BLUZKI 02P (wszystkie przekroje porzeczne)		5	10	8	1	F_{MB}	

Tabela 16 przedstawia różnice w długości odcinków („promieni”) od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki dla tkaniny 02P. Kolorem czerwonym wyróżniono najmniejsze różnice pomiędzy długościami „promieniami” (odległość od środka przekroju poprzecznego i konturu skanu bluzki), a „promieniami” symulacji bluzki z wykorzystaniem zaproponowanych współczynników podatności na formowanie.

Dla PPKP tkaniny 02P najmniejsze różnice w długości odcinków od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki 02P występują dla PPKP symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} , natomiast dla PPT różnice w długości odcinków od środka przekroju poprzecznego występują dla symulacji z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S . W przypadku PPB najmniejsze różnice w długości odcinków od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki na wysokości bioder występują dla symulacji bluzki z wykorzystaniem oprogramowania Blender (bez użycia współczynnika podatności na formowanie). Najwyższa częstość występowania danego wariantu symulacji dla PPKP wynosi 5 w przypadku symulacji bluzki z użyciem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} .

Dla PPT najwyższa częstość występowania danego wariantu symulacji bluzki osiągnięto w przypadku symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S i F_{MB} (po 4).

Dla PPB najwyższą częstość występowania danego wariantu symulacji równą 5 osiągnięto w przypadku symulacji bluzki z wykorzystaniem oprogramowania Blender bez użycia współczynnika podatności na formowanie.

Autor zestawił wszystkie wyniki różnicy długości dla tkaniny 02P. Drugie miejsce ze względu na wartości najmniejszych różnic w długości odcinków od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki uzyskano dla PP symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika F_{KES} dla wszystkich przekrojów poprzecznych.

Tabela 17 przedstawia różnice w długości odcinków „promieni” od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki dla tkaniny 03Z. W kolorze czerwonym wyróżniono najmniejsze różnice pomiędzy długościami „promieniami” (odległość od środka przekroju poprzecznego i konturu skanu bluzki), a „promieniami” symulacji bluzki z wykorzystaniem zaproponowanych współczynników podatności na formowanie.

Dla tkaniny 03Z najmniejsza różnica w długości odcinków od środka przekroju poprzecznego występuje dla symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S . Najwyższą częstość występowania najmniejszych różnic „promieni” danego wariantu symulacji dla PPKP (4) osiągnięto dla PP symulacji bluzki z użyciem współczynnika podatności na formowanie F_S .

Dla PPT najwyższa częstość (4) występowania danego wariantu symulacji potwierdzono dla symulacji bluzki ze współczynnikiem podatności na formowanie F_S .

Dla PPB najwyższa częstość (3) występowania danego wariantu symulacji otrzymano dla symulacji bluzki ze współczynnikiem podatności na formowanie F_{KES} .

Tabela 17. Zestawienie różnic w długości „promieni” dla tkaniny 03Z

	Kąt lokalizacji „promienia” od środka przekroju poprzecznego do konturu bluzki	03Z Skan Blender	03Z Skan FMB	03Z Skan FS	03Z Skan FKES	MIN	MAX
PRZEKRÓJ PORZECZNY NA WYSOKOŚCI KLATKI PIERSIOWEJ	0°	8.20	1.40	2.90	4.00	1.40	8.20
	45°	7.40	7.00	6.90	7.40	6.90	7.40
	90°	8.30	22.00	17.00	28.00	8.30	28.00
	135°	30.30	29.40	26.40	26.20	26.20	30.30
	180°	8.50	3.10	3.80	7.40	3.10	8.50
	225°	31.40	30.20	28.70	31.20	28.70	31.40
	270°	47.00	65.80	61.50	65.70	47.00	65.80
	315°	4.80	4.10	3.90	4.70	3.90	4.80
	Częstość	2	2	4	0	F_s	
PRZEKRÓJ PORZECZNY NA WYSOKOŚCI TALII	0°	9.70	3.60	5.70	12.40	3.60	12.40
	45°	19.00	17.30	16.70	20.30	16.70	20.30
	90°	73.60	73.80	70.90	68.20	68.20	73.80
	135°	37.50	24.40	22.60	25.20	22.60	37.50
	180°	16.80	12.20	4.70	2.00	2.00	16.80
	225°	42.70	43.30	41.70	28.40	28.40	43.30
	270°	4.40	5.30	3.70	10.90	3.70	10.90
	315°	11.30	8.80	8.20	16.30	8.20	16.30
	Częstość	0	1	4	3	F_s	
PRZEKRÓJ PORZECZNY NA WYSOKOŚCI BIODER	0°	3.70	21.90	24.20	10.80	3.70	24.20
	45°	43.80	38.30	38.00	51.70	38.00	51.70
	90°	7.50	16.00	18.70	6.90	6.90	18.70
	135°	27.90	brak danych	brak danych	14.60	14.60	27.90
	180°	5.10	brak danych	brak danych	brak danych		
	225°	25.10	brak danych	brak danych	7.00	7.00	25.10
	270°	20.50	0.20	2.60	3.00	0.20	20.50
	315°	1.10	8.10	8.50	1.90	1.10	8.50
	Częstość	2	1	1	3	F_{KES}	
CZĘSTOŚĆ WYSTĘPOWANIA DANEGO WARIANTU SYMULACJI BLUZKI 03Z (wszystkie przekroje porzeczne)		4	4	9	6	F_s	

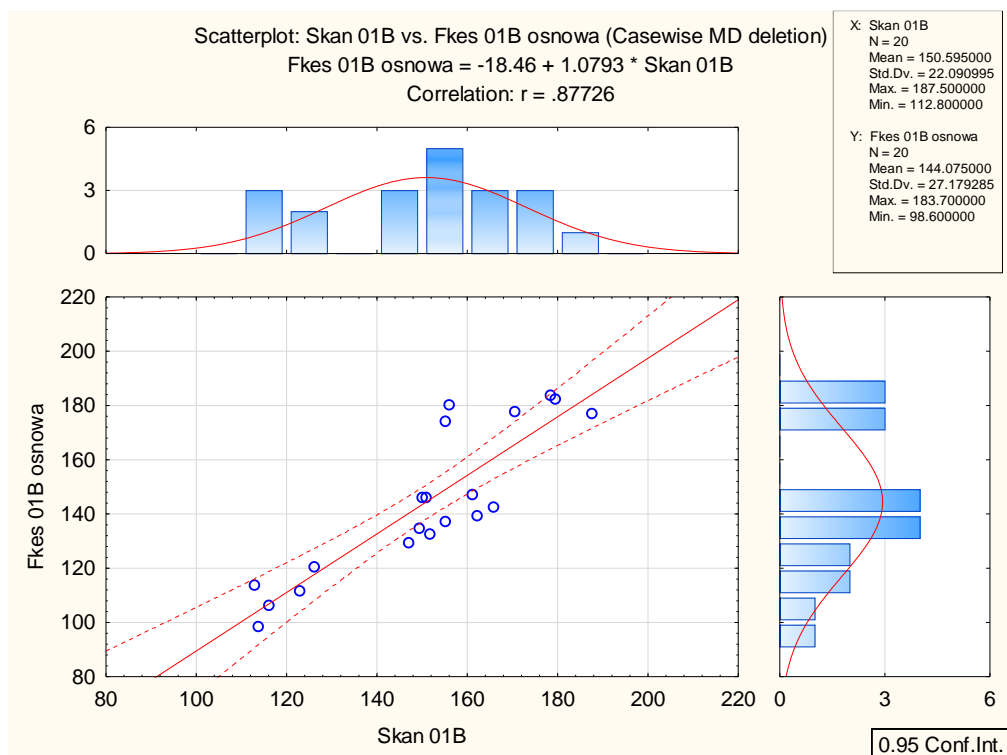
4.3 Analiza statystyczna wyników badań

Analiza zależności cech statystycznych może być wykonana dla cech jakościowych i ilościowych. Korelacja mówi o tym, w jaki sposób cechy są ze sobą powiązane. Jeśli są one ściśle od siebie zależne, to korelacja jest wysoka. I odwrotnie, kiedy związek między dwiema cechami jest znikomy, to jest niska korelacja albo - w niektórych przypadkach - jej brak. Współczynnik korelacji jest liczbą mówiącą o sile i typie korelacji, jest sposobem

na określenie wartości relacji istniejącej między dwiema cechami. Korelacja mierzy stopień zależności, jaki występuje pomiędzy zmiennymi liczbowymi lub jakościowymi.

4.3.1 Obliczanie współczynnika korelacji linowej pomiędzy wartościami „promieni” dla bluzki rzeczywistej i wirtualnej dla tkaniny 01B

Poniżej przedstawiono zależności pomiędzy cechami X i Y, czyli wartościami „promieni”, które rozmieszczone są na osiach promienistych (ramionach) w odległości od środka badanych przekrojów poprzecznych do konturu bluzki na wskazanej wysokości.



Rysunek 71. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 01B osnowa

Rysunek 71 przedstawia wykres korelacji pomiędzy wszystkimi przekrojami porzecznymi skanu bluzki (wzorzec) a symulacją bluzki 01B w kierunku osnowy z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} . Punkty na wykresie (długości „promieni” PP) znajdujące się blisko prostej referencyjnej (linia ciągła, kolor czerwony) dowodzą bliskiej, wzajemnej zależności cech.

Pozostałe wyniki w postaci wykresów korelacji dla badanych przypadków zawiera Załącznik nr 6.

Tabela 18 przedstawia wyniki korelacji pomiędzy wartościami promieni PP skanu bluzki 01B a wartościami promieni PP dla symulacji bluzki z zaproponowanymi współczynnikami podatności na formowanie.

Tabela 18. Wyniki korelacji liniowej pomiędzy wartościami promieni PP skanu bluzki 01B a wartościami promieni PP dla symulacji bluzki z zaproponowanymi współczynnikami podatności na formowanie

	Korelacja $p < .05000$ $N=20$						
	Średnia	Odchylenie Standardowe	Skan 01B	Blender 01B osnowa	F_{MB} 01B osnowa	F_s 01B osnowa	F_{KES} 01B osnowa
Skan 01B	150.60	22.09	1.00	0.83	0.79	0.79	0.88

Najsilniejsze korelacje dla wartości („promieni”) PP bluzki 01P (zbliżone do skanu bluzki 01B), występują dla PP bluzek wirtualnych uzyskanych w symulacjach z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} . Ogólnie można stwierdzić, iż układalność wirtualna bluzki 01B z wykorzystaniem współczynnika F_{KES} jest podobna do rzeczywistej układalności tkaniny 01B (skan bluzki).

4.3.2 Obliczanie współczynnika korelacji liniowej pomiędzy wartościami „promieni” dla bluzki rzeczywistej i wirtualnej dla tkaniny 02P

Podobne zależności pomiędzy cechami X i Y czyli wartościami („promieni”), które rozmieszczone są na osiach promienistych (ramionach) w odległości od środka badanych przekrojów poprzecznych do konturu bluzki na wskazanej wysokości przedstawiono dla bluzki 02P (Tabela 19).

Tabela 19. Wyniki korelacji liniowej pomiędzy wartościami promieni PP skanu bluzki 02P a wartościami promieni PP dla symulacji bluzki z zaproponowanymi współczynnikami podatności na formowanie

	Korelacja $p < .05000$ $N=21$						
	Średnia	Odchylenie Standardowe	Skan 02P	Blender 02P osnowa	F_{MB} 02P osnowa	F_s 02P osnowa	F_{KES} 02P osnowa
Skan 02P	152.48	20.11	1.00	0.53	0.68	0.56	0.59

Korelacja równa 0.68 dla wartości „promieni” PP symulacji bluzek z wykorzystaniem współczynnika F_{MB} mówi o silnej korelacji z wartościami („promieni”) PP dla tkaniny rzeczywistej 02P. Tkanina 02P charakteryzuje się większą masą powierzchniową i splotem skośnym, co może prowadzić do wniosków, iż program Blender, ze względu na wykorzystywany model „mass-spring” w programie 3D, sprawdza się lepiej w przypadku

tkanin o splocie płóciennym niż dla tkanin o splocie skośnym. Stąd niższe wartości współczynników korelacji liniowej niż dla tkaniny 01B.

4.3.3 Obliczanie współczynnika korelacji linowej pomiędzy wartościami „promieni” dla bluzki rzeczywistej i wirtualnej dla tkaniny 03Z

Tabela 20 przedstawia analogiczne zależności dla bluzki 03Z.

Tabela 20. Wyniki korelacji liniowej pomiędzy wartościami promieni PP skanu bluzki 03Z a wartościami promieni PP dla symulacji bluzki z zaproponowanymi współczynnikami podatności na formowanie

	Korelacja $p < .05000$ $N=21$						
	Średnia	Odchylenie Standardowe	Skan 03Z	Blender 03Z osnowa	F_{MB} 03Z osnowa	F_s 03Z osnowa	F_{KES} 03Z osnowa
Skan 03Z	161.82	34.61	1.00	0.78	0.68	0.72	0.78

Najsilniejszą korelacją dla wartości promieni PP skanu bluzki 03Z i wartościami promieni PP dla symulacji bluzki z zaproponowanym współczynnikiem podatności na formowanie są PP bluzki otrzymanej w wyniku symulacji w programie Blender z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} . Potwierdza to również analiza porównawcza przekrojów poprzecznych bluzki (rozdział 4.1.1). Stwierdzono, iż PP symulacji bluzki ze współczynnikiem F_{KES} wykazały się najbardziej zbliżonym kształtem do PP skanu bluzki 03Z.

5 Podsumowanie i wnioski

Rozprawa doktorska ma na celu wyznaczenie wskaźnika określającego jakość dopasowania odzieży do sylwetki użytkownika za pomocą skanera 3D oraz systemu CAD. Autor przedstawia proces tworzenia poprawnej układalności odzieży, czyli bluzki z wykorzystaniem trzech różnych tkanin w środowisku wirtualnym odnosząc się do wzorca w postaci zdigitalizowanej układalności tkaniny w bluzce w środowisku rzeczywistym. Praca przedstawia wiele problemów związanych z poprawną układalnością tkaniny w programach 3D, z jakimi borykają się technolodzy odzieżowi podczas wirtualnych przymiarek. Przechodzenie z rzeczywistej układalności bluzki do wirtualnej wymagało wielu minimalistycznych i bardzo dokładnych badań, zrozumienia wielu zagadnień takich, jak proces tworzenia algorytmów wprowadzanych do programów 3D. Największym wyzwaniem dla Autora rozprawy było wprowadzenie nowych współczynnika podatności na formowanie do programu Blender i zbudowanie kolejnych nowych wariantów programu Blender. Pełne symulacje bluzek dla każdej tkaniny i dla każdego wariantu programu Blendera zaprezentowano jako zdjęcia w Załączniku nr 1, Załączniku nr 2, Załączniku nr 3, Załączniku nr 4, Załączniku nr 5. Rysunki zawarte w tych załącznikach przedstawiają przód bluzki, bok bluzki (lewa strona) i tył bluzki oraz odpowiednie, oryginalne przekroje poprzeczne w trzech omawianych miejscach.

W poniższym rozdziale Autor podsumowuje wyniki uzyskane z analizy porównawczej i analizy statystycznej przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej z bluzkami wirtualnymi w różnych wariantach symulacji tj.: z wykorzystaniem wprowadzonych współczynników podatności na formowanie F_{MB} , F_S , F_{KES} i z wykorzystaniem programu Blender bez współczynnika podatności na formowanie.

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu można wnioskować, iż:

1. Analiza porównawcza przekrojów poprzecznych bluzek dla wykresów radarowych wykazała, że:
 - a) dla tkaniny 01B najbardziej zbliżony przekrój poprzeczny symulacji bluzki do skanu bluzki rzeczywistej otrzymano dla algorytmu z zastosowaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} ,
 - b) dla tkaniny 02P najbardziej zbliżony przekrój poprzeczny symulacji bluzki do skanu bluzki rzeczywistej uzyskano dla algorytmu z zastosowaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} ,
 - c) dla tkaniny 03Z najbardziej zbliżony przekrój poprzeczny symulacji bluzki do skanu bluzki rzeczywistej potwierdza zastosowanie algorytmu ze współczynnikiem podatności na formowanie F_{KES} .
2. Najsilniejsza korelacja pomiędzy PP wirtualnych bluzek a PP skanu rzeczywistej bluzki jest dla:

- a) 01B symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla osnowy 0,88 oraz dla kierunku po skosie 45 bliska 0,88,
 - b) 02P symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla osnowy 0,68,
 - c) 03Z symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla osnowy korelacja jest 0,78 oraz dla kierunku po skosie 45 bliska 0,85.
3. Na podstawie wyników różnic pomiędzy długościami odcinków przekrojów poprzecznych skanu bluzki i symulacji można wnioskować:
- a) najmniejsze różnice pomiędzy odcinkami „promieniami” w przekrojach poprzecznych symulowanej bluzki z wykorzystaniem nowych współczynników podatności na formowanie i oprogramowaniem Blender a skanem rzeczywistym bluzki dla tkaniny 01B wskazuje symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika F_{KES} , i F_S ,
 - b) najmniejsze różnice pomiędzy odcinkami „promieniami” w przekrojach poprzecznych symulowanej bluzki z wykorzystaniem nowych współczynników podatności na formowanie i oprogramowaniem Blender a skanem rzeczywistym bluzki dla tkaniny 02P wskazuje symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika F_{MB} ,
 - c) najmniejsze różnice pomiędzy odcinkami „promieniami” w przekrojach poprzecznych symulowanej bluzki z wykorzystaniem nowych współczynników podatności na formowanie i oprogramowaniem Blender a skanem rzeczywistym bluzki dla tkaniny 03Z wskazuje symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika F_S .

Symulacje przeprowadzane z wykorzystaniem siatki tzw. „model mass spring” zawsze zachowują się symetrycznie. Przekroje poprzeczne posiadają dla prawej i lewej strony bluzki bardziej regularny kształt w porównaniu ze skanem rzeczywistym bluzki (nieregularny kształt przekroju poprzecznego).

Dla tkaniny 01B, czyli tkaniny bawełnianej o splocie płóciennym symulacja układalności tkaniny bluzki była najbliższa układalności skanu bluzki, to świadczy o tym, iż programy, które symulują układalność tkaniny w wirtualnym środowisku, są zaprogramowane dla tkanin o splocie płóciennym. Siatka tkaniny – „model mass spring” realnie odwzorowuje układalność tkanin o splocie płóciennym. Brak jednak bliskiej korelacji dla splotu skośnego.

Oprogramowania posiadają możliwość wprowadzania parametrów mechanicznych tkanin, co powoduje możliwość poprawy układalności tkaniny w wirtualnym środowisku. Wprowadzenie przez Autora rozprawy nowych współczynników podatności na formowanie pokazało, iż parametry mechaniczne tkanin wpływają na optymalizację układalności tkaniny w przestrzeni 3D. Autor swoją pracą zasugerował, iż wprowadzenie dodatkowych parametrów do programów 3D może prowadzić w przyszłości do zbliżenia układalności tkaniny w 3D do układalności rzeczywistej.

W pracy również zwraca się uwagę na program 3D, który wymaga poprawy odczytu i przedstawienia, jako poprawnego algorytmu parametrów mechanicznych tkaniny. Poprawa algorytmu do wczytania i przeliczenia parametrów mechanicznych tkaniny przez program 3D oraz wprowadzenie zaproponowanych współczynników pomoże w jeszcze bardziej układalność tkaniny wirtualnej w 3D do układalności tkaniny rzeczywistej.

Zwraca się również szczególną uwagę na model siatki tkaniny w wirtualnym środowisku, który nie bierze pod uwagę splotu tkaniny, a co się okazało bardzo istotne w eksperymencie. Podsumowując, Autor stwierdza, że uzyskane wyniki badań nie wskazują jednoznacznie, który wprowadzony przez niego współczynnik podatności na formowanie jest najlepszy (wg Autora - F_{KES}). Nie mniej w dysertacji udowodniono tezę, iż:

Wprowadzenie jakiegokolwiek współczynnika podatności na formowanie do programu Blender pozwala poprawić jakość odwzorowania układalności bluzki rzeczywistej przez zasymulowaną układalność bluzki wirtualnej na awatarze w porównaniu do programu Blender w wersji producenckiej.

6 Bibliografia

- Ancutiene i Strazdiene, L. K. (2013, December 20). Quality evaluation of the appearance of virtual close-fitting woven garments. *Taylor and Francis*.
- Ancutiene, K. (2011, July). The influence of textile materials mechanical properties upon virtual garment fit . *Research Gate*.
- Ashdown, L. S.-C. (2004). Using 3D Scans for fit analysis. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*.
- Autodesk. (2011-2021). *AutoCad* . Pobrano z lokalizacji ezdx: <https://ezdx.readthedocs.io/en/stable/dxfinternals/index.html#basic-dxf-structures>
- Balach, A. C. (2019, July). Initial Investigation Into Real 3D Body Scanning Versus Avatars for the Virtual Fitting of Garments. *Autex Research Journal*. doi:10.2478/aut-2019-0037
- Balach, C. F. (2021, September 26). Developing Real Avatars for the Apparel Industry and Analysing Fabric Draping in the Virtual Domain. *Autex Research Journal*. doi:10.2478/aut-2021-0015
- Bałach, M. (2007). Antropometria a grupy rozmiarowe w odzieżownictwie. W M. L.-J. M. Bałach, *Praca magisterska - Antropometria a grupy rozmiarowe w odzieżownictwie*. Łódź.
- Bałach, M. (2022). *Źródło własne*.
- Bartkowiak. (2017). Fabric Selection for the Reference Clothing Destined for Ergonomics Test of Protective Clothing—Sensorial Comfort Point of View. *Autex Journal*, 303-312.
- Behera, B. (2014). Role of fabric properties in the clothing-manufacturing process. W R. P. R. Nayak, *Garment Manufacturing* (str. 70).
- Behery, H. M. (2006). W H. Behery, *Effects of Mechanical and Physical Properties on Fabric Hand*. Woodhead The Textile Institute.
- Berthouzoz, G. A. (2013, July 21). Parsing Sewing Patterns into 3D Garments. *Semantic Scholar*. doi:10.1145/2461912.2461975
- Boberg, P. P. (2008, September). Designing Avatars. *Proceedings of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts*, (strony 232-239). doi:10.1145/1413634.1413679
- Branson, H. S. (1991). Conceptualization and measurement of clothing comfort: Toward a metatheory Critical linkages in textiles and clothing subject matter Theory method and practice. *Monument, CO: International Textile and Apparel Association*, 94-105.
- Browzwear. (brak daty). Browzwear. Program Browzwear.
- Cichocka A. Bruniaux P. Comparison of Traditional 2D and Virtual Patterns Design in 3D *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics* Vol.13 No.5, 2009

- Choi, H. Y. (2014, December 31). Relationships of sensibility image of mannequin and apparel shop. *The Research Journal of the Costume Culture*. doi:10.7741/RJCC.2014.22.6.955
- Choudhury, M. D. (2011). Factors affecting comfort: human physiology and the role of clothing. W G. Song, *Improving comfort in clothing* (strony 22 -25). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Das, H. B. (2017). The development and application of a fabric objective measurement data system in the South African apparel industries: Hygral expansion and formability. *Journal of Consumer Sciences*.
- De Raeve, C. J. (2018, March 2). 3D Body scanning as a valuable tool in a Mass customization business model for clothing industry. *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering*. doi:10.4172/2329-9568.S4-009
- Dunajewska G., N. K. (1973). Rozmiernaja typologia nasjelieinja s osnovami anatomii i morfologii". Moskwa: Liokkaja Industrija.
- Erwin, M. D., Kinchen, L. A. i Peters, K. A. (1979). *Clothing for Moderns*. Hillsboro, OR 97123: Macmillan .
- Fan, Y. W. (2004). *Clothing Appearance and Fit*. Cambridge: Woodhead Publishing Series.
- Fourt, N. H. (1969). *The Comfort and Function of Clothing*. Maryland: Harris Research Laboratories.
- Frydrych, I. (2018). Właściwości konfekcyjne wyrobów włókeinnicznych. *Wykłady z odzieżownictwa*.
- Ghazimoradi M, A. A.-Y. (2014, June). Evaluation of the Fabric Formability by Concentrated Loading Method. *Research Gate*.
- Gill, A. M. (2018, October). Scan to Pattern: How Body Scanning can help transform traditional methods of creating patterns blocks. *Research Gate*, strony 236-240. doi:10.15221/18.236
- Gill, S. (2018). Human measurements and product development for high performance apparel. W T. S. J. McLoughlin, *High-Performance Apparel: Materials, Development, and Applications* (strony 191-205). Woodhead.
- Giorgio. (January 1995). Fabric Assurance by Simple Testing. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 43-48.
- Glombikova, K. (2014). Drape Evaluation by the 3DDrape Scanner. *TEKSTİL ve KONFEKSİYON*, 279-285.
- Han, S. K. (2010). 3D modelling, simulation and visualisation techniques for drape textiles and garments. W C. X., *Modelling and predicting textile behaviour* (strony 388 - 421). Oxford: Woodhead publishing limited.
- Hayes, J. M. (2008). Automated fabric inspection. W C. Fairhurst, *Advances in* (str. 272). Manchester.
- Hu, J. (2004). Objective measurements technology of woven fabric. W J. Hu, *Structure and mechanics of woven fabrics* (str. 23). Cambridge: Woodhead Publishing.

- Hu, J. (2004). Structural Properties of fabric. W J. Hu, *Structure and mechanics of woven fabric* (strony 61-90). Cambridge: Woodhead.
- Hu, J. (2004). The Shear properties of woven fabrics. W J. Hu, *Structure and mechanics of woven fabrics* (strony 151-185). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Hu, J. (2004). The tensile properties of woven fabrics. W J. Hu, *Structure and mechanics of woven fabrics* (strony 91-122). Woodhead.
- Hunter, F. J. (2015). Improving the Comfort of Garments. W *Textiles and Fashion* (strony 739-761). Woodhead Publishing.
- ISO. (1991, April). *ICS: 61.020 Clothes*. Pobrano z lokalizacji Standard sizing system of clothing: <https://www.iso.org/standard/18747.html>
- J. Lindberg, B. B. (1961, February 1). Shearing and buckling of various commercial fabrics. strony 99-122 .
- Jahan. (2017, October). Effect of Fabric Structure on the Mechanical Properties of Woven Fabrics. *Advance Research in textile Engineering*. doi:10.26420
- Kawabata. (1980). Standarization and analysis of hand evaluation. W S. Kawabata, *Standarization and analysis of hand evaluation* (str. 34). Osaka Tiger Printing. Co.
- Kilinc-Balci, F. S. (2011). How consumers perceive comfort in apparel. W G. Song, *Improving comfort in clothing* (strony 97-113). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Kiline-Balci. (2011). Testing, analyzing and predicting the comfort properties of textile. W G. Song, *Improving comfort in clothing* (strony 138-158). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Kim, K. P. (2006, December). Development of a Platform for Realistic Garment Drape Simulation. *Fibers and Polymers*, strony 436-441. doi:10.1007/BF02875778
- Kiron, M. I. (2021, October 9). *List of CAD/CAM Software Used in Textile and Apparel Industry*. Pobrano z lokalizacji <https://textilelearner.net/list-of-cad-cam-software/>
- Klepser, M. S. (2020, June 7). 4D scanning - The dynamic view on body measurements. *Communication in development and assembling of textile product*, strony 30-38. doi:0.25367/cdatp.2020.1
- Kowalczyk, R. (2005). Antropometria stopniowanie szablonów odzieżowych. W R. Kowalczyk, *Antropometria stopniowanie szablonów odzieżowych* (str. 29). Warszawa: Camela.
- Kuijpers. (2014). Virtual tailoring for enhancing product development and sales. *Global Fashion 2014*. Manchester.
- Kuijpers, A. (2017). *Evaluation of physical and virtual fabric drape created from objective fabric roperties*. Manchester: School of Materials.
- Kuijpers, A. (2017). *Evaluation of physical and virtuale fabric drape created from objective fabric roperties*. ProQuest.
- Kuijpers, L. C. (2020). The Measurement of fabric properties for virtual simulation — a critical review. *Semantic scholar*.

- Lapkowska, D. B. (2018). An investigation on the virtual prototyping validity garment drape. *Proceedings of the International Scientific Conference*, (strony 448-458).
- Lavanya, S. (2020, September 12). Clothing Comfort- Physiological Status and Psychological Status. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*. doi:10.46501/IJMTST0609S10
- Lectra. Lectra. Program Lectra.
- Lee, Y. T. (1992). Apparel Product Data Exchange Standard. *Proceedings of the Third Annual Academic Apparel Research Conference*.
- Lin, J. R.-Y. (2018, March 02). Fitting simulation evaluation on personalized avatars. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*.
- Lindberg J. (1961). Dimensional Changes in Multicomponent Systems of Fabrics: A Theoretical Study. *Textile Research Journal*, 664-669.
- Lindberg J., W. L. (1960). 108—WOOL FABRICS AS GARMENT CONSTRUCTION. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 1475 -1493.
- Liu, L. T. (2009, February). The 5Ps Model to Optimize Compression Athletic Wear Comfort in Sports. *Journal of Fiber Bioengineering & Informatics*, 41-51. doi:10.3993/jfbi06200907
- Luible, M. -T. (2008). The simulation of clothing using accurate physical parameters. *Research Gate*.
- Matté, B. A. (2017). The evaluation of (social-)psychological comfort in clothing, a possible approach. *Conference Series Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-899X/254/18/182008
- Namiranian B., S. N. (2009, August 4). Compression plate buckling behavior of fused fabric composites. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 311-325. Pobrano z lokalizacji Science Direct Topics: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fabric-assurance-by-simple-testing>
- P.Wren, S. G. (2010, November). Industry fit practices and the issues that impact on good garment fit. *100TH TEXTILE INSTITUTE WORLD CONFERENCE*. Manchester.
- Pandurangan, E. J. (2008, January 18). Enhancing accuracy of drape simulation. Part II: Optimized drape simulation using industry-specific software. *Journal of the Textile Institute*.
- Parafianowicz. (1989). *Konstrukcja i modelowanie odzieży ciężkiej*. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne WSiP.
- Parafianowicz. (1995). *Słownik odzieżowy*. Warszawa: Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne.
- Parafianowicz. (1997). *Konstrukcja i modelowanie odzieży ciężkiej*. Warszawa: Wydawnictwa szkolne i pedagogiczne.
- Polański, Z. (2005,). „Wybrane zagadnienia z odzieżownictwa”. W *Na prawach rękopisu*. Łódź: Politechnika Łódzka.

- Pons-Moll, P. S. (2017, July). ClothCap: Seamless 4D Clothing Capture and Retargeting. *Research Gate*, str. 15. doi:10.1145/3072959.3073711
- Reality, R. (2022). *Reactive Reality*. Pobrano z lokalizacji reactivereality.com: <https://www.reactivereality.com/>
- Riaz, S. M. (2004). Identification of the Factors Responsible for the Usage of Clothes. *Pakistan Journal of*, strony 49-50.
- Rogovskiy, V. (2022). *3D Look*. Pobrano z lokalizacji 3dlook.me/: <https://3dlook.me/>
- Shin, J. S. (2006, January). Pattern Data Format Standardization Between Apparel CAD and 3D Body Scan with Extensible Markup Language. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*.
- Skorupski, J. (2006). *An Executive Summary of Research in Cloth Simulation*. California Polytechnic State University: Department of computer science & software engineering.
- Stontag, M. (1985, September 1). Comfort Dimensions of Actual and Ideal Insulative Clothing for Older. *Research Article*. doi:10.1177/0887302X8500400102
- TC2. *Grade your patterns in size easily and proportionally*. Pobrano z lokalizacji Pattern Grading CAD software: <https://www.tc2.com/pattern-grading-cad-software.html>
- Truman, A. (2019). *Made to Sew*. Pobrano z lokalizacji What is Ease: <https://madetosew.com/what-is-ease/>
- Walter J., H. G. (1953). A Comparative Study of the Tinius Olsen and Peirce Stiffness Testers. *Textile Research Journal*, 743-748.
- Walter, J. (2021). *Avumi*. Pobrano z lokalizacji avumi.com/: <https://avumi.com/>
- Wang G., P. R. (2003, January). The Tailorability of Lightweight Wool and Wool-blend Fabrics. *Journal of the Textile Institute*, strony 212–22.
- Watkins, P. (2011). Garment patterns design and comfort . W G. Song, *Improving comfort in clothing* (strony 245-272). Cambridge: Woodhead publishing.
- Weil. (1986). The synthesis of cloth objects. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 49–54.
- Wikipedia. (2022, Kwiecień 19). <https://pl.wikipedia.org/wiki/Odzie%C5%BC>.
- Wilson, C. o. (2023). *Kawabata Evaluation System*. Pobrano 2022 z lokalizacji NC State University: <https://textiles.ncsu.edu/tpacc/comfort-performance/kawabata-evaluation-system/>
- Wiszomirska, I. (2009). *Anatomia układu ruchu człowieka*. Warszawa: Wydawnictwo Alma Mer.
- Wu, J. M. (2011). An investigation on the validity of 3D clothing simulation for. *International conference on Innovative Methods in Product Design*. Venice.
- Wu, M. Y. (2011). An investigation on the validity of 3D clothing simulate on for garment fit evaluation. *Institute of Textile and Clothing the Hong Kong Polytechnic University*;
- Xu, L. Y. (2019). ABB Robotic Arm Offline Programming System. *Journal of Physics: Conference Series*. doi:10.1088/1742-6596/1267/1/012064

- Yu, W. (2004). Definition of fit. W W. Y. J Fan, *Clothing Appearance and Fit: Science and Technology* (strony 31-33). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Yu, W. (2004). Objective evaluation of clothing fit. W W. Yu, *Clothing Appearance and Fit* (strony 72-88). Woodhead Publishing.
- Yu, W. (2004). Subjective assesment of clothing fit. W W. Y. By J Fan, *Clothing Appearance and Fit: Science and Technology* (strony 31-41). Cambridge: Woodhead.
- Zeraatkar, K. K. (2020, April 6). A Fast and Low-Cost Human Body 3D Scanner Using 100 Cameras. str. 21. doi:10.3390/jimaging6040021
- Zhang, W. J. (2014, February 10). Design 3D garments for scanned human bodies. *Springer*.
- Zhang, W. J. (2014, July 8). Design 3D garments for scanned human bodies. *Journal of Mechanical Science and Technology*, str. 2479~2487.
- Żurek, K. (1983). *Struktura płaskich wyrobów włókienniczych*. Łódź: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.

Spis rysunków

Rysunek 1. Wykres kontrolny generowany przez system FAST (Giorgio, January 1995).....	14
Rysunek 2. Zasada pomiaru przyrządem FAST – 1 (Hu, 2004).....	15
Rysunek 3. Zasada pomiaru przyrządem FAST-2 (Hu, 2004).....	16
Rysunek 4. Zasada pomiaru wydłużenia przyrządem FAST-3 (Hu, 2004).....	17
Rysunek 5. Schemat zasada pomiaru przyrządem FAST-4 (Hu, 2004).....	18
Rysunek 6. Uproszczony schemat pomiarów ścinania tkaniny przy użyciu przyrządu KES – FB1 a) test rozciągania , b) test ścinania (Bartkowiak, 2017).....	19
Rysunek 7. Pomiar rozciągliwości na przyrządzie KES – FB1 (Wilson, 2023).....	20
Rysunek 8. Pomiar ścinania na przyrządzie KES – FB1 (Wilson, 2023).....	20
Rysunek 9. Uproszczony schemat pomiaru sztywności zginania (Bartkowiak, 2017).....	21
Rysunek 10. Przyrząd do pomiaru parametru zginania KES – FB2, a) widok przyrządu b) schemat przyrządu (Wilson, 2023).....	21
Rysunek 11. Uproszczony schemat pomiaru parametru ściskania (Bartkowiak, 2017).....	22
Rysunek 12. Przyrząd do pomiaru parametru ściskania KES – FB3 a) widok przyrządu, b) schemat przyrządu (Wilson, 2023).....	22
Rysunek 13. Uproszczony schemat pomiaru parametru badania właściwości powierzchniowych (Bartkowiak, 2017).....	23
Rysunek 14. Schemat badania parametru chropowatości tkaniny i siły tarcia.....	23
Rysunek 15. Pętla podczas procesu ściskania (Naujokaityte i inni, 2007).....	26
Rysunek 16. Schemat miernika do układalności tkaniny według Cusick'a (Kuijpers, 2017).....	28
Rysunek 17. Biały obszar M1 to papierowy pierścień i M2 kontur zwisającej tkaniny, jasno szary okrąg to dysk podporowy (Kuijpers, 2017).....	29
Rysunek 18. Schemat pomiaru układalności tkaniny metoda Vangheluwa i Kiekensa (Kuijpers, 2017)....	29
Rysunek 19. 3D Draper Scanner do pomiaru układalności (Glombikova, 2014).....	30
Rysunek 20. Kryteria do oceny poprawności dopasowania odzieży do sylwetki człowieka (Yu, 2004).....	32
Rysunek 21. Przykłady luzów odzieżowych A, B, C bluzki na sylwetce kobiecej (Truman, 2019).....	34
Rysunek 22. Subiektywne odczucie komfortu (Watkins, 2011).....	36
Rysunek 23. Czynniki wpływające na wybór odzieży (Lavanya, 2020).....	39
Rysunek 24. Schemat płaszczyzn ciała ludzkiego (Parafianowicz, 1997).....	43
Rysunek 25. Linie ciała wyznaczone na ciele ludzkim (Parafianowicz, 1995).....	44
Rysunek 26. Przykładowe manekiny stosowane w sklepach odzieżowych.....	45
Rysunek 27. Manekiny antropometryczna dla różnych rodzajów ciała człowieka.....	46
Rysunek 28. Awatary firm Browzwear i Lectra (Browzwear), (Lectra).....	47
Rysunek 29. Przykłady nowoczesnych awatarów zbliżonych do rzeczywistego wyglądu człowieka (Bałach, 2022).....	48
Rysunek 30. Ogólny podział skanerów ze względu na metody ich działania (Bałach, 2007).....	50
Rysunek 31. Uproszczony schemat tworzenia obrazu 3D przez skaner (Bałach 2007).....	52
Rysunek 32. Technologie komputerowe w przemyśle odzieżowym (Kiron, 2021).....	56
Rysunek 33. Przykładowy plik czytania DXF i reprezentacja w 2D a) struktura pliku DXF b) struktura pliku DXF w postaci rysunku 2D.....	59
Rysunek 34. Porównanie rzeczywistego skanu sukienki z sukienką wygenerowaną w symulacji w programie Browzwear (Bałach 2021).....	60
Rysunek 35. Symulacja 3D automatycznego szycia sukienki (Berthouzo, 2013).....	62
Rysunek 36. Opis awatara do szycia 3D.....	63
Rysunek 37. Model Układu Punktów Masy (Han, 2010).....	65
Rysunek 38. Schemat procesu tworzenia wirtualnej przymiarki odzieży (Ancutiene, The influence of textile materials mechanical properties upon virtual garment fit, 2011).....	69
Rysunek 39. Symulacja koszuli męskiej w programie Lectra dla parametrów z systemu KES – FB i FAST 70	
Rysunek 40. Awatar z programu Lectra z wymienionymi pozycjami klatki piersiowej, tali i bioder, forma sukienki w 2D i symulacja przymiarki 3D (Ancutiene & Strazdiene, 2013).....	71

Rysunek 41. Widok sukienki z przodu, tyłu, pachy i boku wraz z numerami kodów tkaniny (Ancutiene & Strazdiene, 2013)	72
Rysunek 42. Konstrukcja tyłu i przodu bluzki damskiej (Parafianowicz, 1995)	79
Rysunek 43. Wymiary manekina Alvanon w rozmiarze 40.....	80
Rysunek 44. Siatka konstrukcyjna rękawa podstawowego.....	87
Rysunek 45. Forma bluzki w systemie Lectra (opracowanie własne)	90
Rysunek 46. Manekin Alvanon	91
Rysunek 47. Manekin Alvanon (rozmiar 40) zeskanowany przez skaner TC2 (opracowanie własne)	91
Rysunek 48. Awatar Alvanon zbudowany przy użyciu RapidForm i Wrap3 (opracowanie własne)	93
Rysunek 49. Awatar z nałożoną teksturą skóry (opracowanie własne).....	93
Rysunek 50. Schemat procesu budowy awatara (opracowanie własne)	94
Rysunek 51. Skan bluzki 01B (kolor biały).....	95
Rysunek 52. Skan bluzki 02P (paski).....	96
Rysunek 53. Skan bluzki 03Z (kolor zielony).....	96
Rysunek 54. Uproszczony schemat procesu badań	99
Rysunek 55. Schemat poszukiwania właściwego współczynnika podatności na formowanie	100
Rysunek 56. Schemat planowania eksperymentu	103
Rysunek 57. Wyznaczenie wysokości linii ciała dla przekrojów poprzecznych awatara.....	104
Rysunek 58. Przekroje poprzeczne awatara w bluzce	105
Rysunek 59. PPT – Przekrój poprzeczny talii dla skanu bluzki i bluzki z użyciem współczynnika podatności na formowanie F_{MB}	106
Rysunek 60. Struktura programu Blender SIM_mass_spring	108
Rysunek 61. Schemat algorytmu do automatycznego zszywania odzieży	110
Rysunek 62. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych klatki piersiowej (PPKP) do konturu bluzki 01B	122
Rysunek 63. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych talii (PPT) do konturu bluzki 01B.....	123
Rysunek 64. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych bioder (PPB) do konturu bluzki 01B.....	124
Rysunek 65. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych klatki piersiowej (PPKP) do konturu bluzki 02P	124
Rysunek 66. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych talii (PPT) do konturu bluzki 02P.....	125
Rysunek 67. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych bioder (PPB) do konturu bluzki 02P.....	126
Rysunek 68. Długości odcinków „promieni” od środka przekrojów poprzecznych klatki piersiowej (PPKP) do konturu bluzki 03Z	127
Rysunek 69. Długości „promieni” odcinków od środka przekrojów poprzecznych talii (PPT) do konturu bluzki 03Z.....	127
Rysunek 70. Długości „promieni” odcinków od środka przekrojów poprzecznych bioder (PPB) do konturu bluzki 03Z.....	128
Rysunek 71. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 01B osnowa.....	134

Spis tabel

Tabela 1. Przykłady parametrów mierzone w systemie FAST	13
Tabela 2 Podstawowe skanery 3D do pobierania wymiarów człowieka (Bałach, 2022).....	51
Tabela 3. Zestaw tkanin zastosowanych w badaniu i ich skład procentowy	71
Tabela 4. Podstawowe wymiary manekina Alvanon w rozmiarze 40.....	81
Tabela 5. Budowa siatki form podstawowych bluzki dla manekina Alvanon.....	81
Tabela 6. Konstrukcja formy rękawa podstawowego	86

<i>Tabela 7. Konstrukcja siatki formy rękawa podstawowego</i>	87
<i>Tabela 8. Modelowanie formy rękawa podstawowego</i>	89
<i>Tabela 9. Charakterystyka tkanin użytych w badaniu</i>	95
<i>Tabela 10. Wyniki dla poszczególnych tkanin z systemu KES – FB</i>	97
<i>Tabela 11. Zestawienie przekrojów poprzecznych klatki piersiowej (PPKP) dla skanu bluzki (wzorzec) oraz PP symulacji w programie Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie</i>	116
<i>Tabela 12. Zestawienie przekrojów poprzecznych talii (PPT) dla bluzki zeskanowanej (wzorzec) oraz PP symulacji bluzek otrzymanych w programie Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie</i>	118
<i>Tabela 13. Zestawienie przekrojów poprzecznych bioder (PPB) dla skanu bluzki (wzorzec), oraz PP symulacji bluzek otrzymanych w programie Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie</i>	120
<i>Tabela 14. Zestawienie częstości występowania wartości wariantów symulacji bluzki pokrywającymi się ze wzorcem (skan bluzki)</i>	129
<i>Tabela 15. Zestawienie różnic w długości „promieni” dla tkaniny 01B</i>	130
<i>Tabela 16. Zestawienie różnic w długości „promieni” dla tkaniny 02P</i>	131
<i>Tabela 17. Zestawienie różnic w długości „promieni” dla tkaniny 03Z</i>	133
<i>Tabela 18. Wyniki korelacji liniowej pomiędzy wartościami promieni PP skanu bluzki 01B a wartościami promieni PP dla symulacji bluzki z zaproponowanymi współczynnikami podatności na formowanie</i>	135
<i>Tabela 19. Wyniki korelacji liniowej pomiędzy wartościami promieni PP skanu bluzki 02P a wartościami promieni PP dla symulacji bluzki z zaproponowanymi współczynnikami podatności na formowanie</i>	135
<i>Tabela 20. Wyniki korelacji liniowej pomiędzy wartościami promieni PP skanu bluzki 03Z a wartościami promieni PP dla symulacji bluzki z zaproponowanymi współczynnikami podatności na formowanie</i>	136

Spis załączników

<i>Załącznik nr 1 SKANY I PRZEKROJE POPRZECZNE KLATKI PIERSIOWEJ, TALII I BIODER (PPKP, PPT,PPB) BLUZEK 01B, 02P 03Z NA MANEKINIE</i>	154
<i>Załącznik nr 2 BLUZEK 01B, 02P, 03Z ORAZ PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH KLATKI PIERSIOWEJ, TALII I BIODER (PPKP, PPT,PPB) W PROGRAMIE BLENDER (BEZ WYKORZYSTANIA WSPÓŁCZYNNIKA PODATNOŚCI NA FORMOWANIE)</i>	158
<i>Załącznik nr 3 SYMULACJE BLUZEK 01B, 02P, 03Z ORAZ PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH KLATKI PIERSIOWEJ, TALII I BIODER (PPKP, PPT,PPB) DLA WSPÓŁCZYNNIKA PODATNOŚCI NA FORMOWANIE F_{MB}</i>	165
<i>Załącznik nr 4 SYMULACJE BLUZEK 01B, 02P, 03Z ORAZ PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH KLATKI PIERSIOWEJ, TALII I BIODER (PPKP, PPT, PPB) DLA WSPÓŁCZYNNIKA PODATNOŚCI NA FORMOWANIE F_s</i>	172
<i>Załącznik nr 5 SYMULACJE BLUZEK 01B, 02P, 03Z ORAZ PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH KLATKI PIERSIOWEJ, TALII I BIODER (PPKP, PPT, PPB) DLA WSPÓŁCZYNNIKA PODATNOŚCI NA FORMOWANIE F_{KES}</i>	179
<i>Załącznik nr 6 WYKRESY KORELACJI LINIOWEJ DLA SKANU BLUZKI Z SYMULACJĄ BLUZKI W PROGRAMIE BLENDER I Z ZAPROPONOWANYMI WSPÓŁCZYNNIKAMI PODATNOŚCI NA FORMOWANIE</i>	186
<i>Załącznik nr 7 PORÓWNYWANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH BLUZEK DLA TKANINY 02P</i>	199
<i>Załącznik nr 8 PORÓWNYWANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH DLA TKANINY 03Z</i>	203
<i>Załącznik nr 9 PORÓWNANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH BLUZKI DLA PROGRAMU BLENDER</i>	207
<i>Załącznik nr 10 PORÓWNANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH BLUZKI DLA SYMULACJI BLUZKI Z WYKORZYSTANIEM WSPÓŁCZYNNIKA F_{MB}</i>	211
<i>Załącznik nr 11 PORÓWNANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH BLUZKI DLA SYMULACJI BLUZKI Z WYKORZYSTANIEM WSPÓŁCZYNNIKA F_s</i>	215
<i>Załącznik nr 12 PORÓWNANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH BLUZKI DLA SYMULACJI BLUZKI Z WYKORZYSTANIEM WSPÓŁCZYNNIKA F_{KES}</i>	219

Załączniki

Spis rysunków Z (Załączniki)

Rysunek Z 1 Skan bluzki uszytej z tkaniny 01B widok z przodu, boku i tyłu	155
Rysunek Z 2 Przekroje poprzeczne manekina i bluzki 01B a) PPKP, b) PPT, c) PPB	155
Rysunek Z 3 Skan bluzki uszytej z tkaniny 02P widok z przodu, boku i tyłu	156
Rysunek Z 4 Przekroje poprzeczne manekina i bluzki 02P a) PPKP, b) PPT, c) PPB	156
Rysunek Z 5 Skan bluzki uszytej z tkaniny 03Z widok z przodu, boku i tyłu	157
Rysunek Z 6 Przekroje poprzeczne manekina i bluzki 03Z a) PPKP, b) PPT, c) PPB	157
Rysunek Z 7 Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 01B osnowa widok z przodu, boku i tyłu	159
Rysunek Z 8. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB .	159
Rysunek Z 9 Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 01B po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu	160
Rysunek Z 10 Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	160
Rysunek Z 11 Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 02P osnowa widok z przodu, boku i tyłu	161
Rysunek Z 12 Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	161
Rysunek Z 13 Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 02P po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu	162
Rysunek Z 14 Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	162
Rysunek Z 15 Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 03Z osnowa widok z przodu, boku i tyłu	163
Rysunek Z 16 Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	163
Rysunek Z 17. Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 03Z osnowa widok z przodu, boku i tyłu	164
Rysunek Z 18. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	164
Rysunek Z 19. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 01B osnowa widok z przodu, boku i tyłu	166
Rysunek Z 20. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	166
Rysunek Z 21. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 01B po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu	167
Rysunek Z 22. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	167
Rysunek Z 23. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 02P osnowa widok z przodu, boku i tyłu	168
Rysunek Z 24. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	168
Rysunek Z 25. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 02P po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu	169
Rysunek Z 26. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	169
Rysunek Z 27. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 03Z osnowa widok z przodu, boku i tyłu.....	170
Rysunek Z 28. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	170
Rysunek Z 29. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 03Z po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu.....	171

Rysunek Z 30. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	171
Rysunek Z 31. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 01B osnowa widok z przodu, boku i tyłu	173
Rysunek Z 32. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	173
Rysunek Z 33. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 01B po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu	174
Rysunek Z 34. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	174
Rysunek Z 35. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 02P osnowa widok z przodu, boku i tyłu	175
Rysunek Z 36. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	175
Rysunek Z 37. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 02P po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu	176
Rysunek Z 38. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	176
Rysunek Z 39. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 03Z osnowa widok z przodu, boku i tyłu	177
Rysunek Z 40. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	177
Rysunek Z 41. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 03Z po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu	178
Rysunek Z 42. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	178
Rysunek Z 43. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 01B osnowa widok z przodu, boku i tyłu	180
Rysunek Z 44. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	180
Rysunek Z 45. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 01B po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu	181
Rysunek Z 46. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	181
Rysunek Z 47. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 02P osnowa widok z przodu, boku i tyłu	182
Rysunek Z 48. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	182
Rysunek Z 49. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 02P po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu	183
Rysunek Z 50. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	183
Rysunek Z 51. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 03Z osnowa widok z przodu, boku i tyłu	184
Rysunek Z 52. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	184
Rysunek Z 53. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 03Z po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu	185
Rysunek Z 54. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB	185
Rysunek Z 55. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki w programie Blender dla tkaniny 01B osnowa	187

Rysunek Z 56. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki w programie Blender dla tkaniny 01B po skosie 45°	187
Rysunek Z 57. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 01B osnowa.....	188
Rysunek Z 58. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 01B po skosie 45°	188
Rysunek Z 59. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 01B osnowa	189
Rysunek Z 60. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 01B po skosie 45°	189
Rysunek Z 61. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 01B osnowa	190
Rysunek Z 62. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 01B po skosie 45°.....	190
Rysunek Z 63. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem programu Blender dla tkaniny 02P osnowa.....	191
Rysunek Z 64. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem programu Blender dla tkaniny 02P po skosie 45°	191
Rysunek Z 65. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 02P osnowa.....	192
Rysunek Z 66. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 02P po skosie 45°	192
Rysunek Z 67. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 02P osnowa	193
Rysunek Z 68. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 02P po skosie 45°	193
Rysunek Z 69. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 02P osnowa.....	194
Rysunek Z 70. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 02P 45	194
Rysunek Z 71. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem programu Blender dla tkaniny 03Z osnowa.....	195
Rysunek Z 72. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem programu Blender dla tkaniny 03Z po skosie 45°.....	195
Rysunek Z 73. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 03Z osnowa.....	196
Rysunek Z 74. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 03Z 45.....	196
Rysunek Z 75. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 03Z osnowa	197
Rysunek Z 76. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 03Z 45	197
Rysunek Z 77. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 03Z osnowa	198
Rysunek Z 78. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_S dla tkaniny 03Z 45	198

Spis Tabel Z (Załączniki)

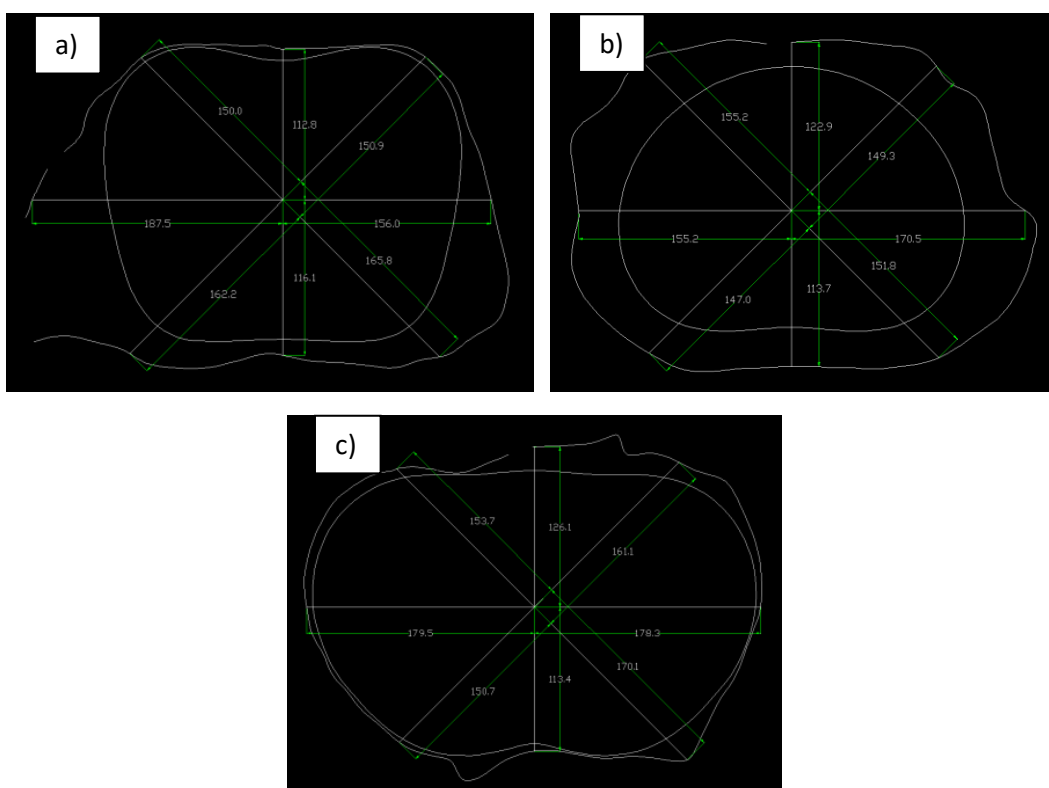
<i>Tabela Z 1. Zestawienie przekroju poprzecznego klatki piersiowej dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 02P</i>	<i>200</i>
<i>Tabela Z 2. Zestawienie przekroju poprzecznego talii dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 02P</i>	<i>201</i>
<i>Tabela Z 3. Zestawienie przekroju poprzecznego bioder dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 02P</i>	<i>202</i>
<i>Tabela Z 4. Zestawienie przekroju poprzecznego klatki piersiowej dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 03Z.....</i>	<i>204</i>
<i>Tabela Z 5. Zestawienie przekroju poprzecznego talii dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 03Z</i>	<i>205</i>
<i>Tabela Z 6. Zestawienie przekroju poprzecznego bioder dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 03Z</i>	<i>206</i>
<i>Tabela Z 7. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 01B i symulacji bluzki z wykorzystaniem programu Blender.....</i>	<i>208</i>
<i>Tabela Z 8. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 02P i symulacji bluzki z wykorzystaniem programu Blender.....</i>	<i>209</i>
<i>Tabela Z 9. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 03Z i symulacji bluzki z wykorzystaniem programu Blender.....</i>	<i>210</i>
<i>Tabela Z 10. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 01B i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB}</i>	<i>212</i>
<i>Tabela Z 11. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny i 02P symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB}</i>	<i>213</i>
<i>Tabela Z 12. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 03Z i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB}</i>	<i>214</i>
<i>Tabela Z 13. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 01B i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s.....</i>	<i>216</i>
<i>Tabela Z 14. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 02P i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s.....</i>	<i>217</i>
<i>Tabela Z 15. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 03Z i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s.....</i>	<i>218</i>
<i>Tabela Z 16. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 01B i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES}.....</i>	<i>220</i>
<i>Tabela Z 17. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 02P i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES}.....</i>	<i>221</i>
<i>Tabela Z 18. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 03Z i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES}.....</i>	<i>222</i>

Załącznik nr 1

SKANY I PRZEKROJE POPRZECZNE KLATKI
PIERSIOWEJ, TALII I BIODER (PPKP, PPT, PPB) BLUZEK
01B, 02P 03Z NA MANEKINIE



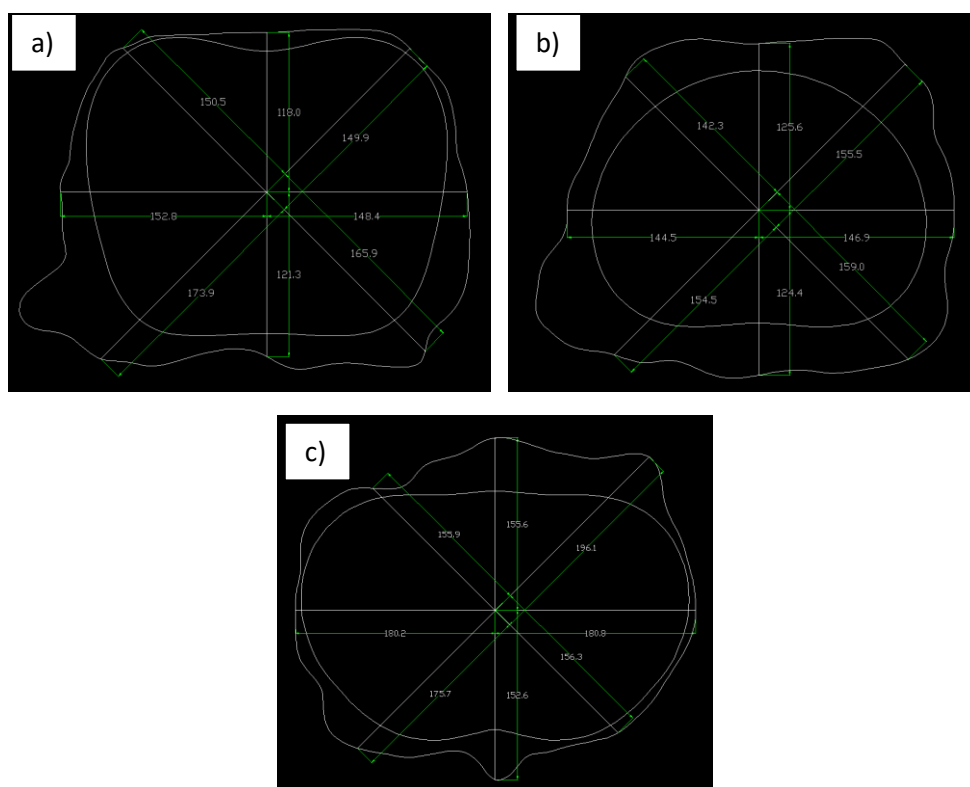
Rysunek Z 1 Skan bluzki uszytej z tkaniny 01B widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 2 Przekroje poprzeczne manekina i bluzki 01B a) PPKP, b) PPT, c) PPB



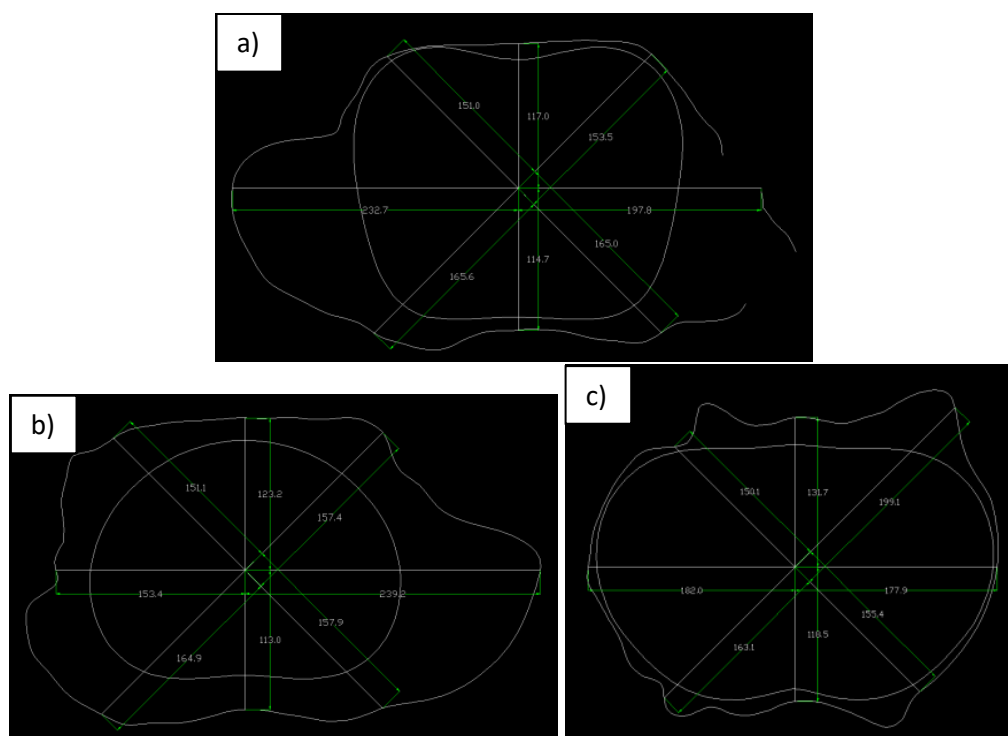
Rysunek Z 3 Skan bluzki uszytej z tkaniny 02P widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 4 Przekroje poprzeczne manekina i bluzki 02P a) PPKP, b) PPT, c) PPB



Rysunek Z 5 Skan bluzki uszytej z tkaniny 03Z widok z przodu, boku i tyłu

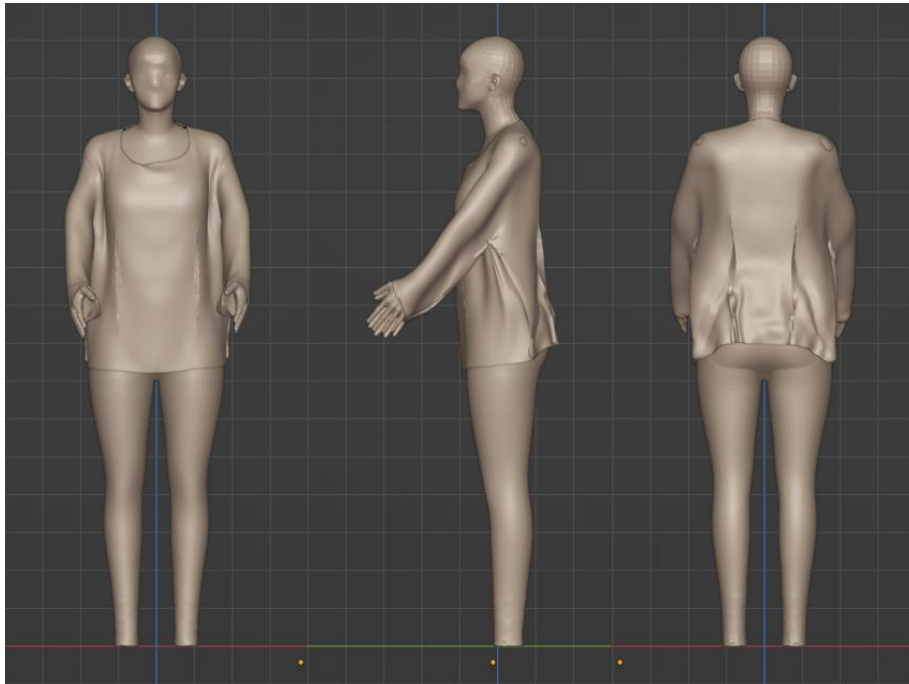


Rysunek Z 6 Przekroje poprzeczne manekina i bluzki 03Z a) PPKP, b) PPT, c) PPB

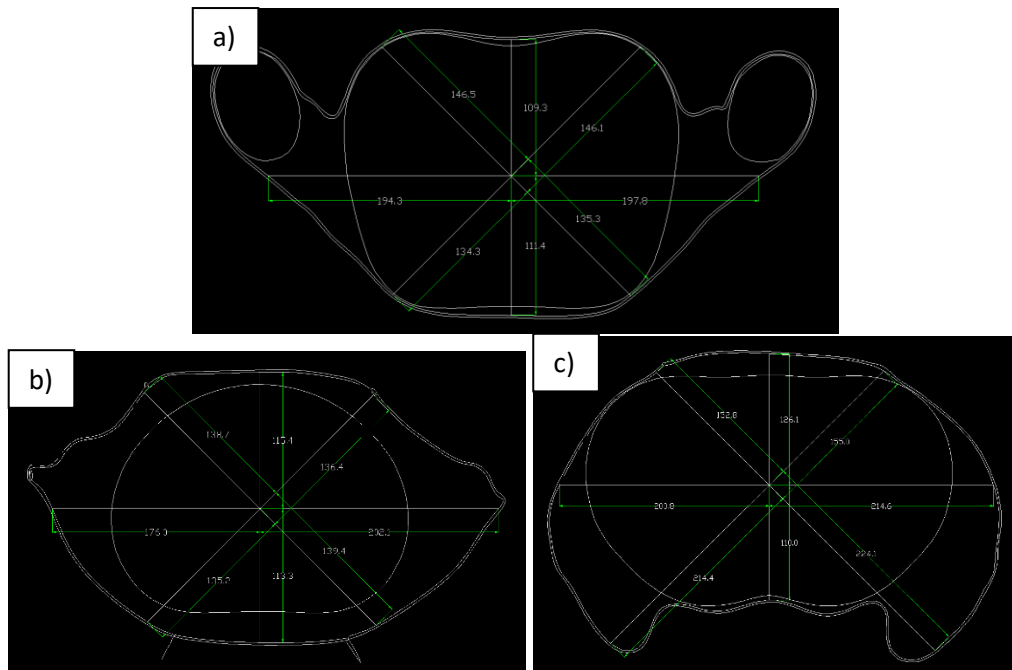
Załącznik nr 2

BLUZEK 01B, 02P, 03Z ORAZ PRZEKROJÓW
POPRZECZNYCH KLATKI PIERSIOWEJ, TALII I BIODER
(PPKP, PPT, PPB) W PROGRAMIE BLENDER (BEZ
WYKORZYSTANIA WSPÓŁCZYNNIKA PODATNOŚCI NA
FORMOWANIE)

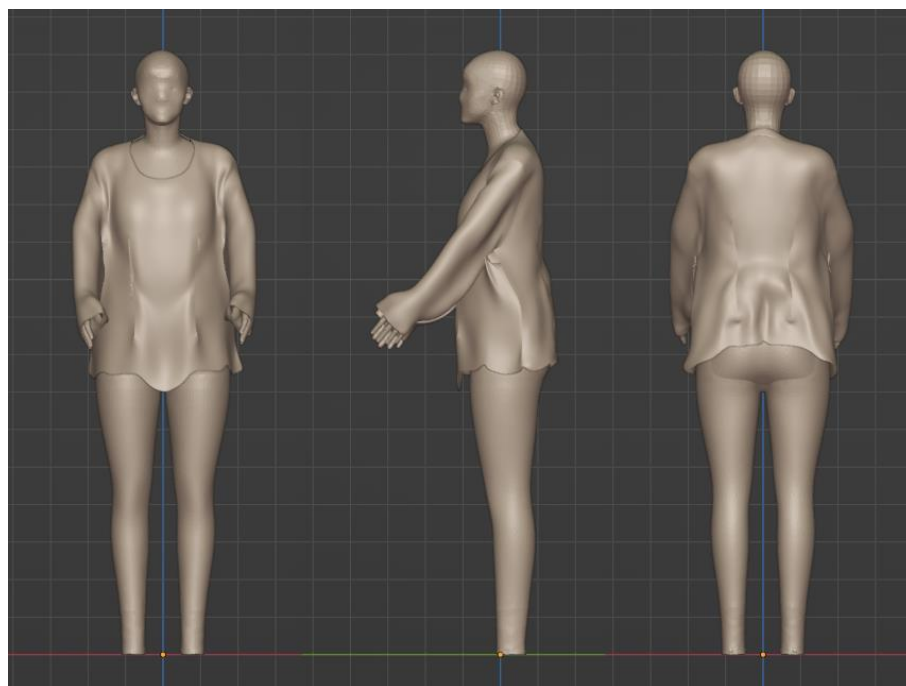
a) BLUZKA 01B



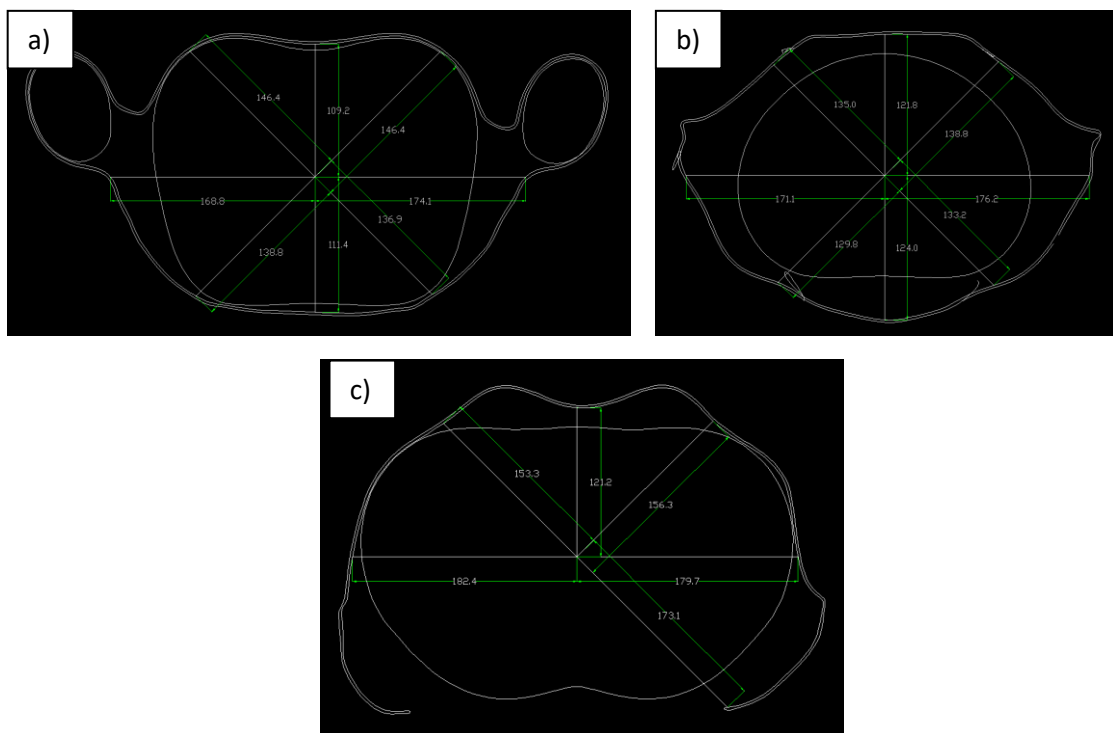
Rysunek Z 7 Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 01B osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 8. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B osnwa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

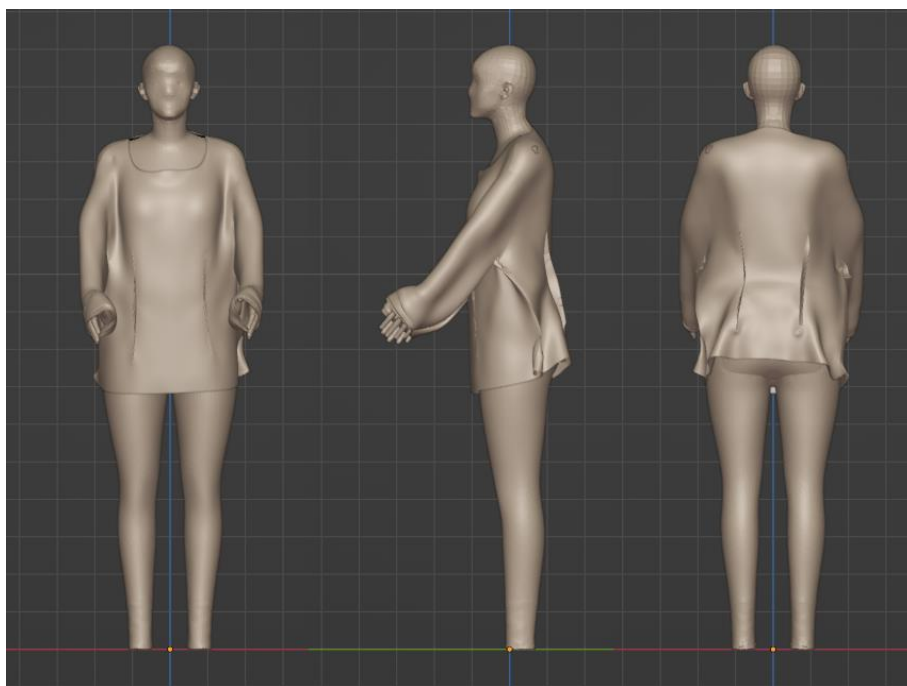


Rysunek Z 9 Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 01B po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

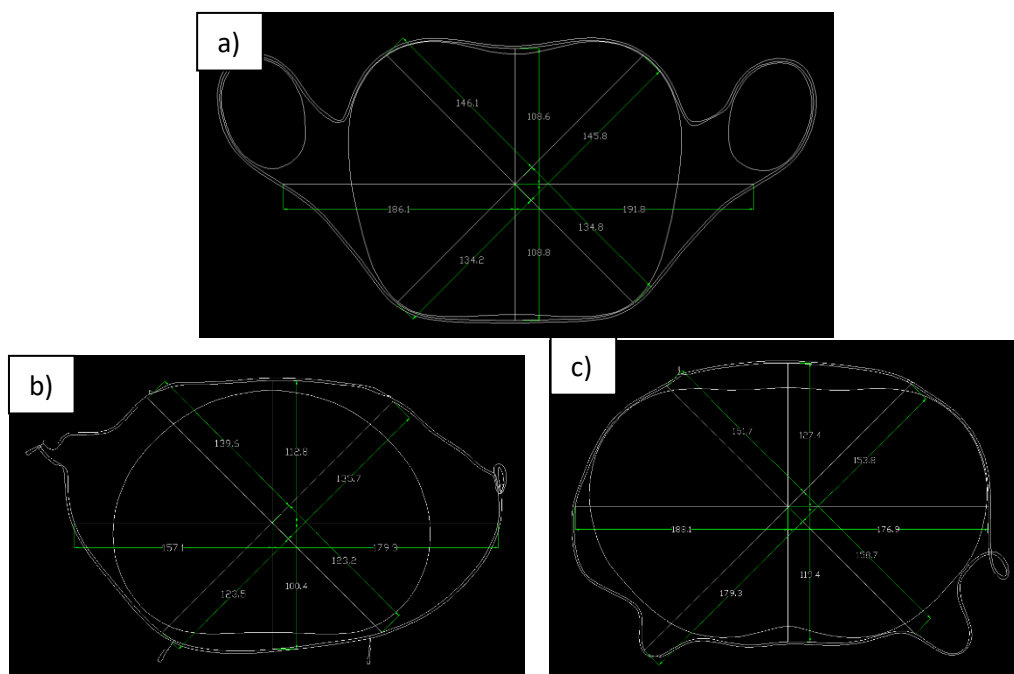


Rysunek Z 10 Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

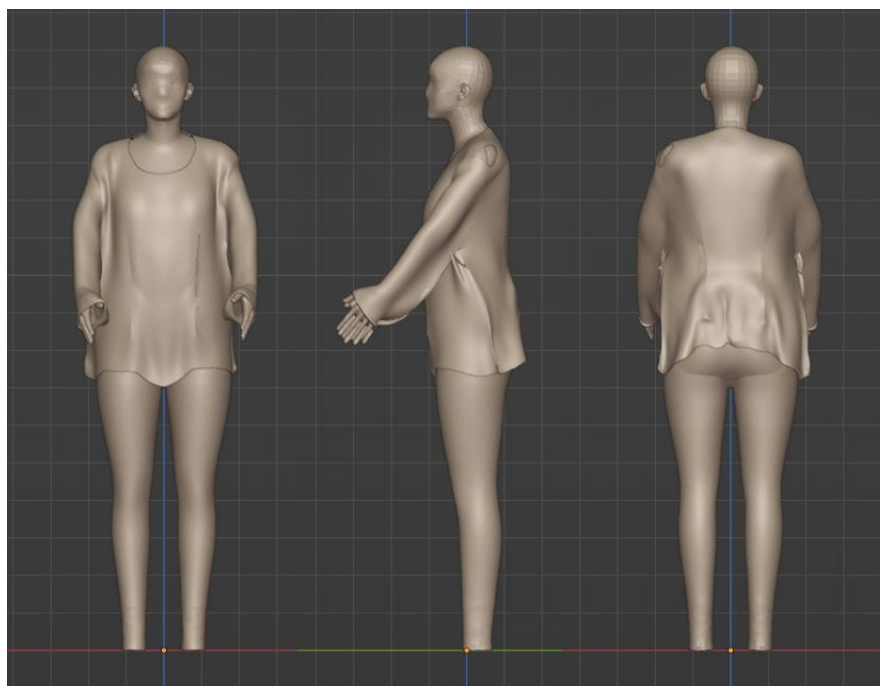
b) BLUZKA 02P



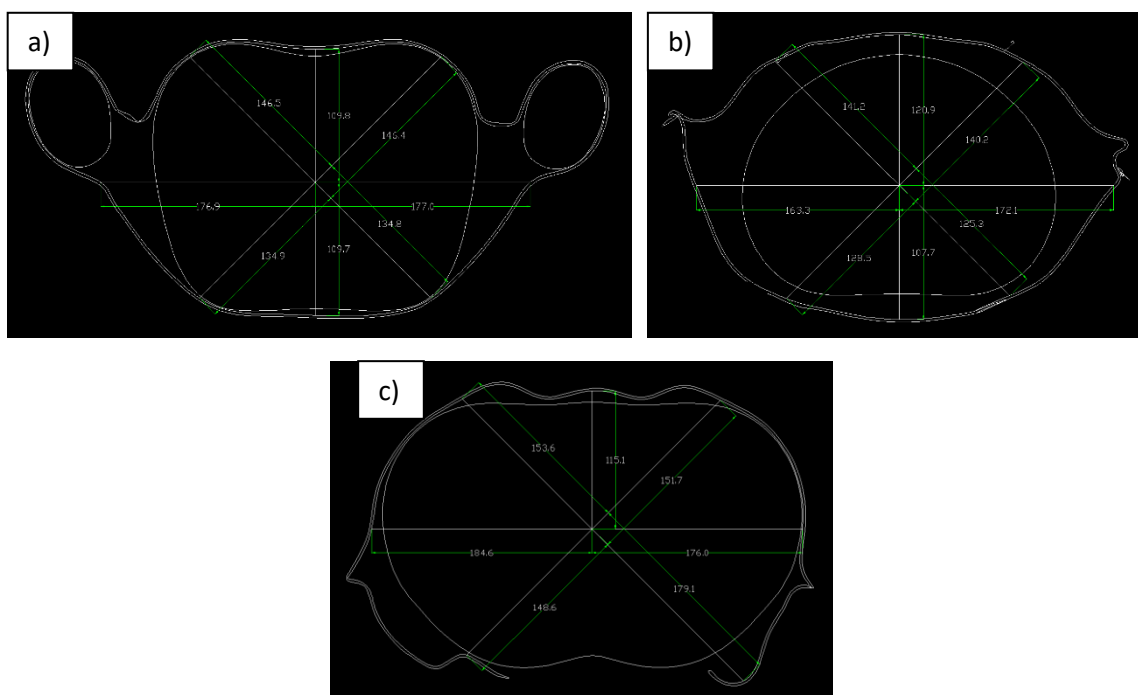
Rysunek Z 11 Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 02P osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 12 Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

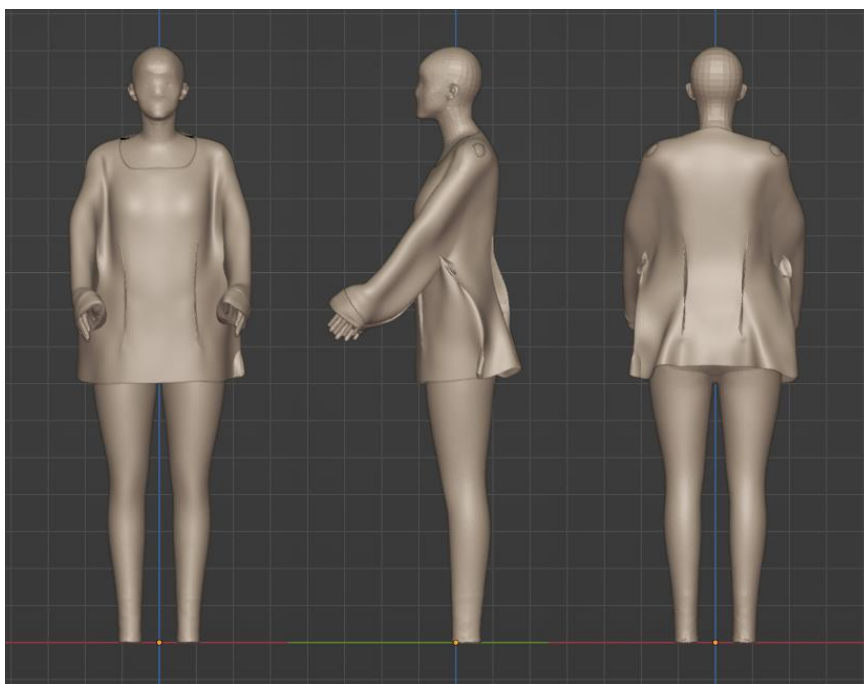


Rysunek Z 13 Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 02P po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

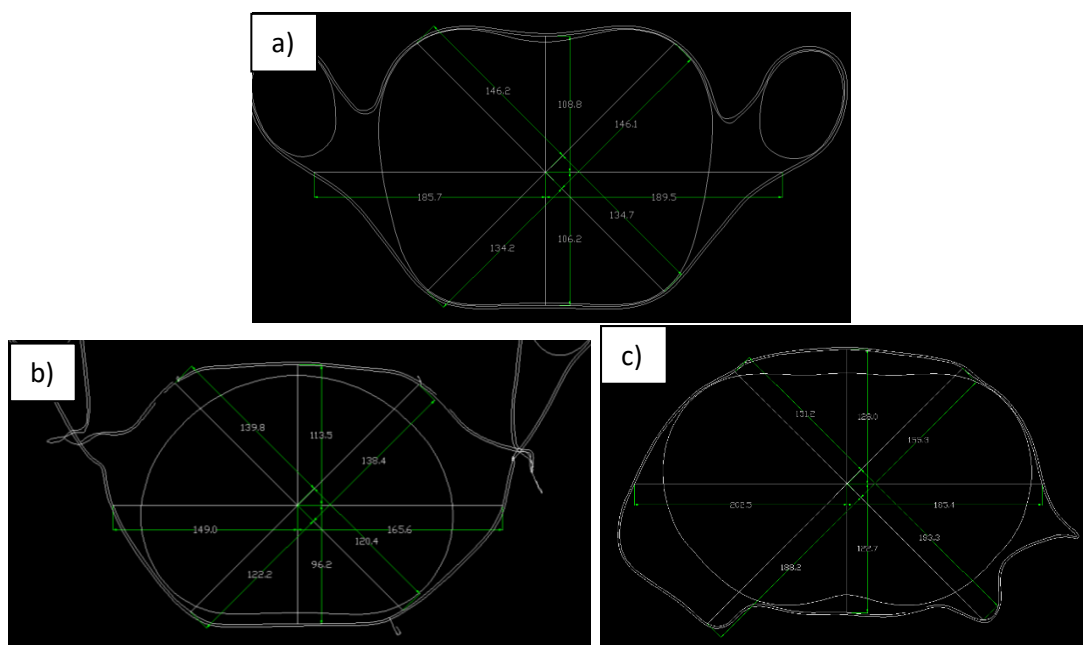


Rysunek Z 14 Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

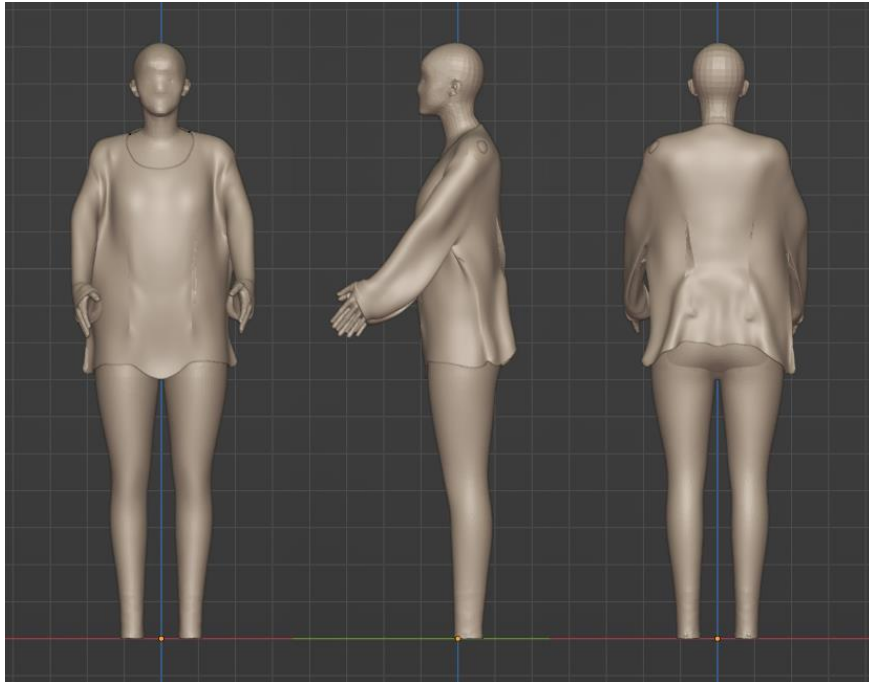
c) BLUZKA 03Z



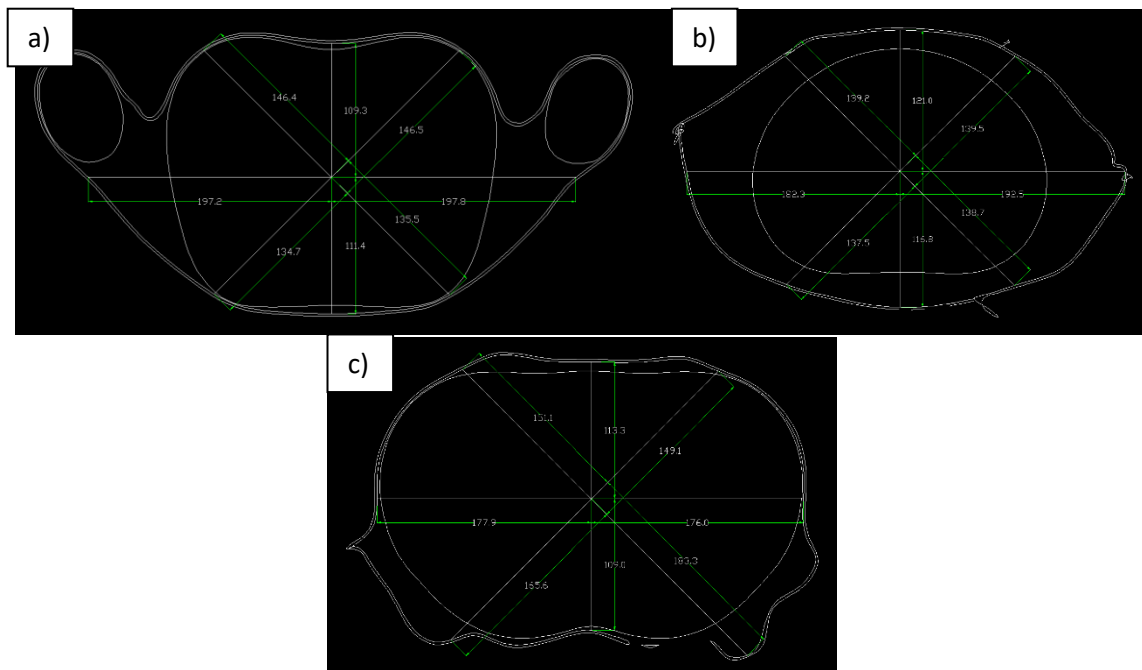
Rysunek Z 15 Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 03Z osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 16 Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB



Rysunek Z 17. Symulacja bluzki w programie Blender dla tkaniny 03Z osnowa widok z przodu, boku i tyłu

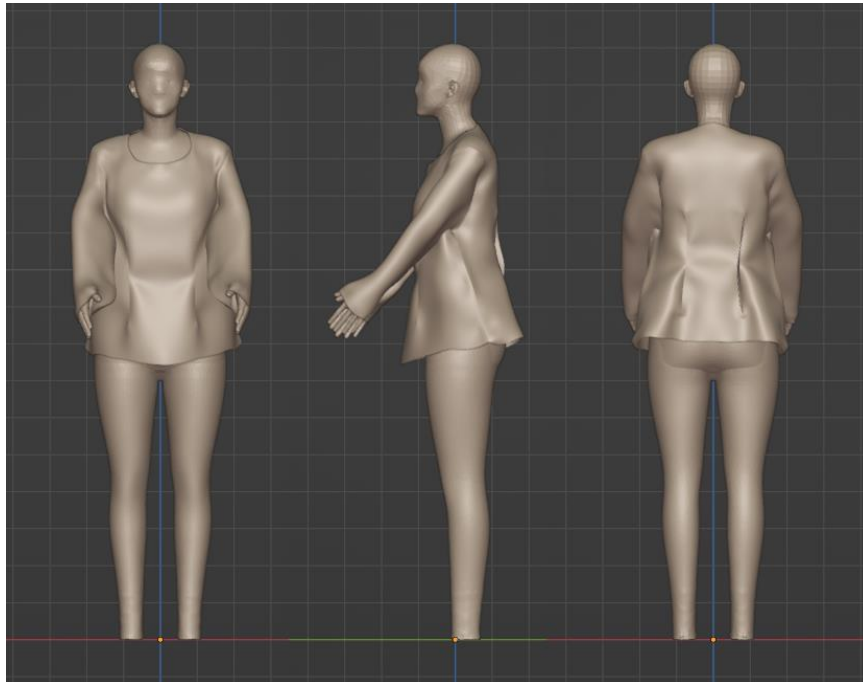


Rysunek Z 18. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

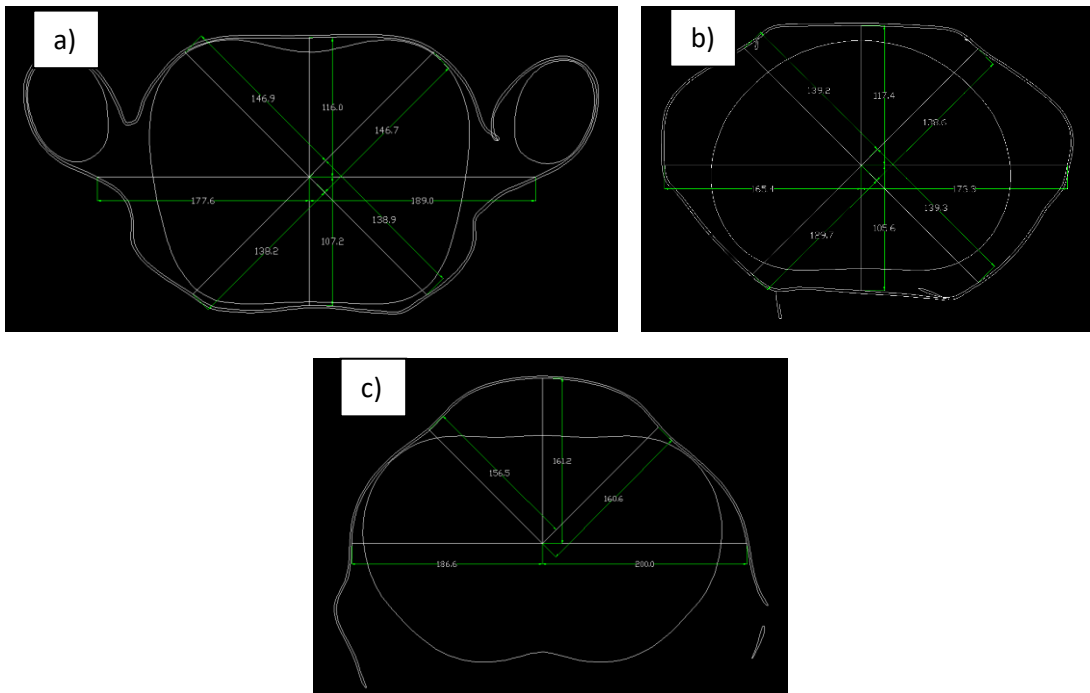
Załącznik nr 3

SYMULACJE BLUZEK 01B, 02P, 03Z ORAZ
PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH KLATKI PIERSIOWEJ,
TALII I BIODER (PPKP, PPT, PPB) DLA WSPÓŁCZYNNIKA
PODATNOŚCI NA FORMOWANIE F_{MB}

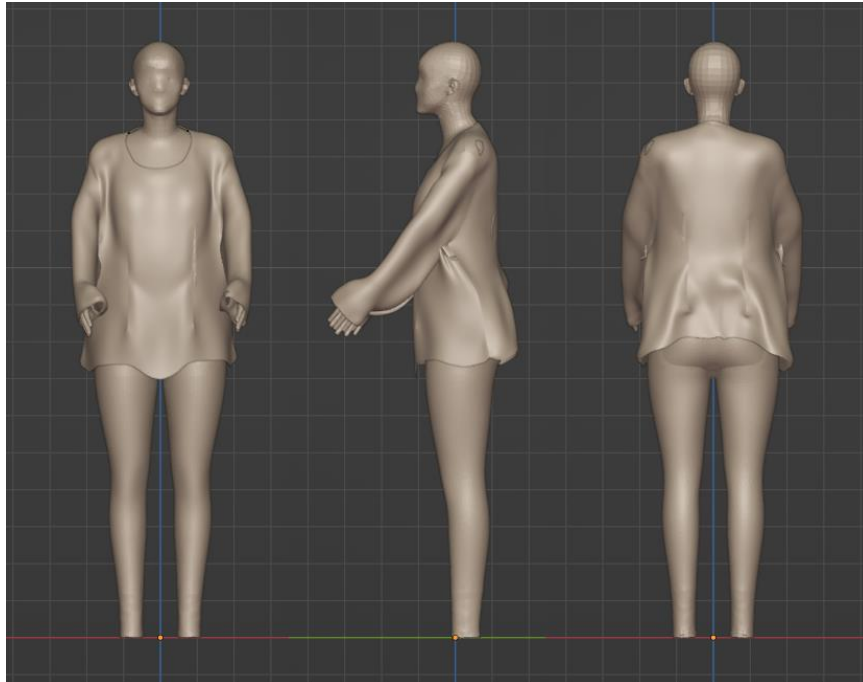
a) BLUZKA 01B



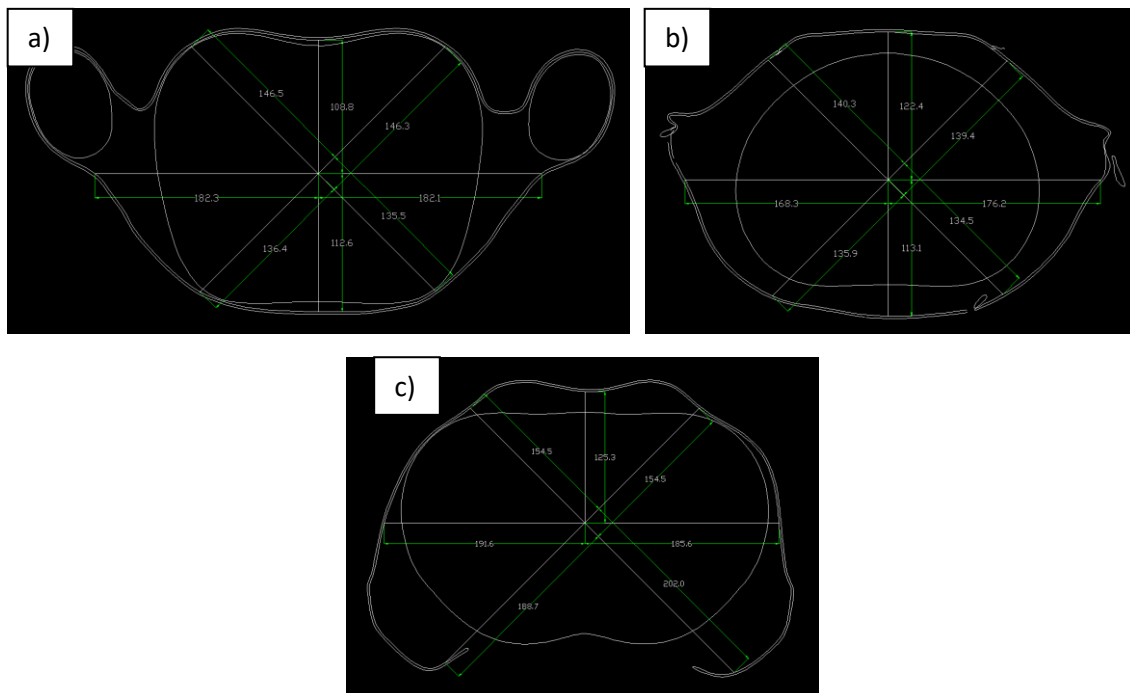
Rysunek Z 19. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 01B osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 20. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

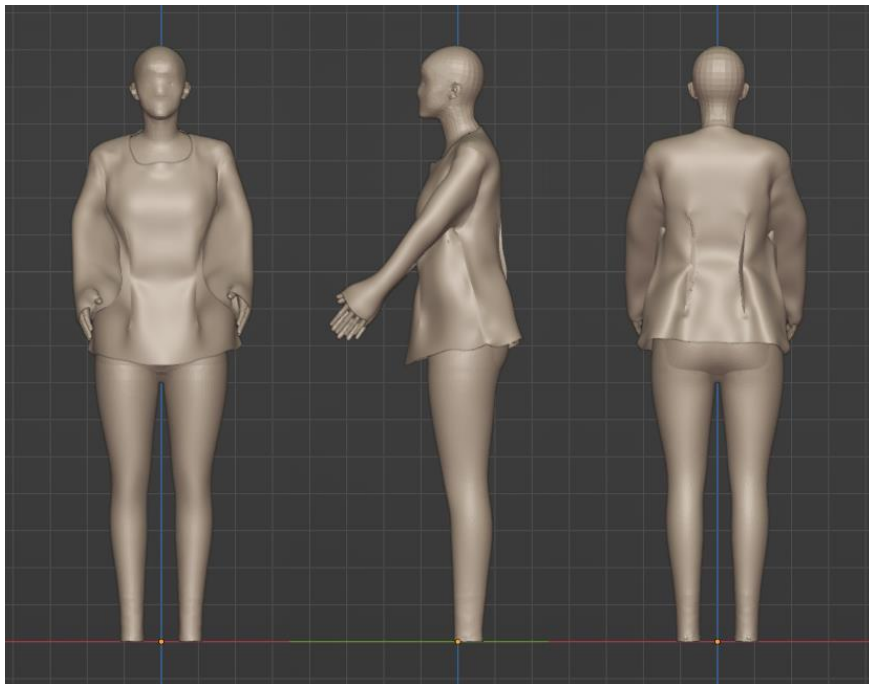


Rysunek Z 21. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 01B po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

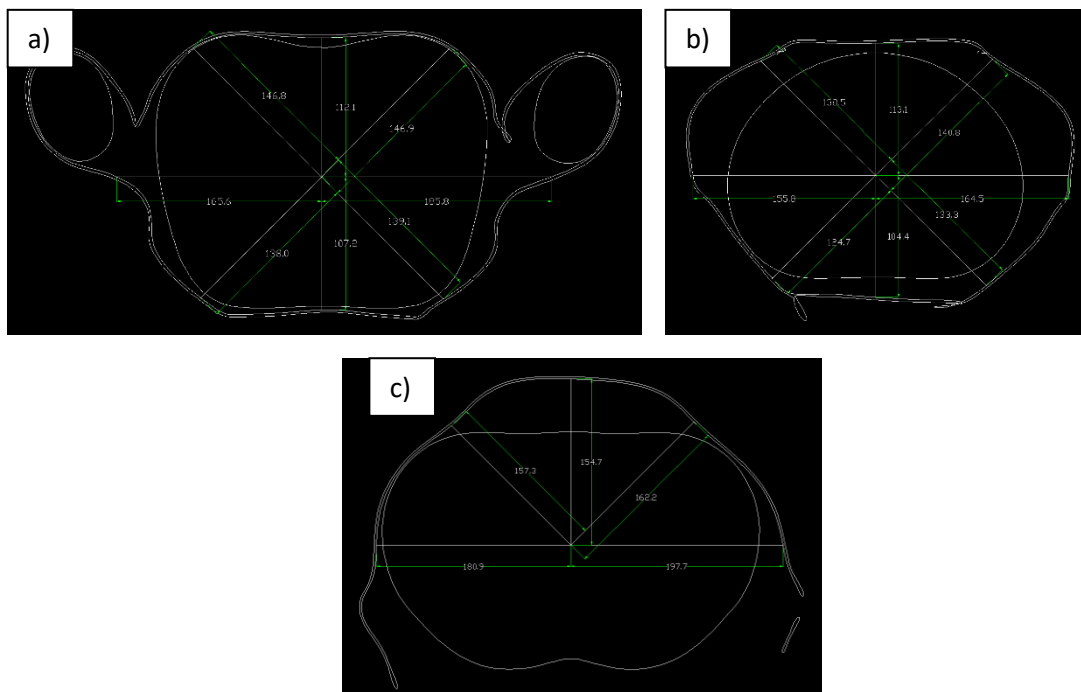


Rysunek Z 22. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

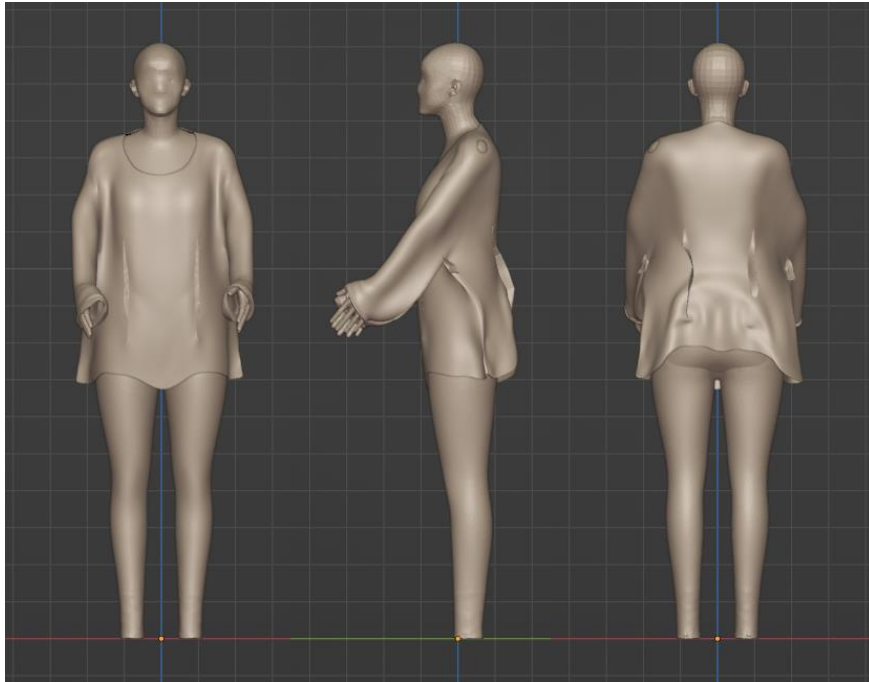
b) BLUZKA 02P



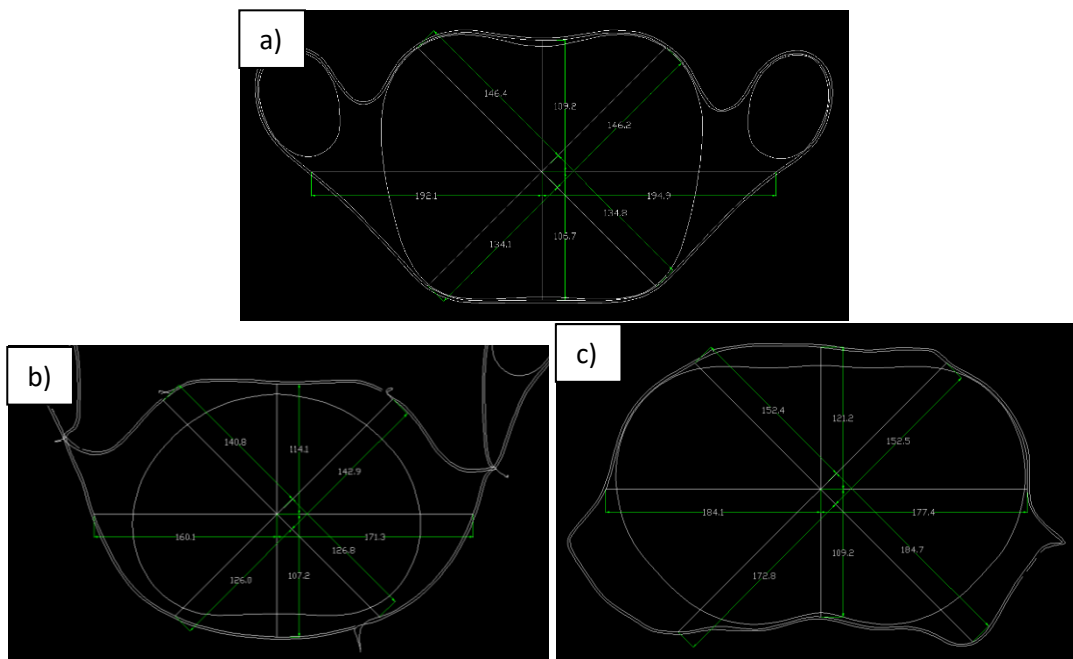
Rysunek Z 23. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 02P osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 24. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

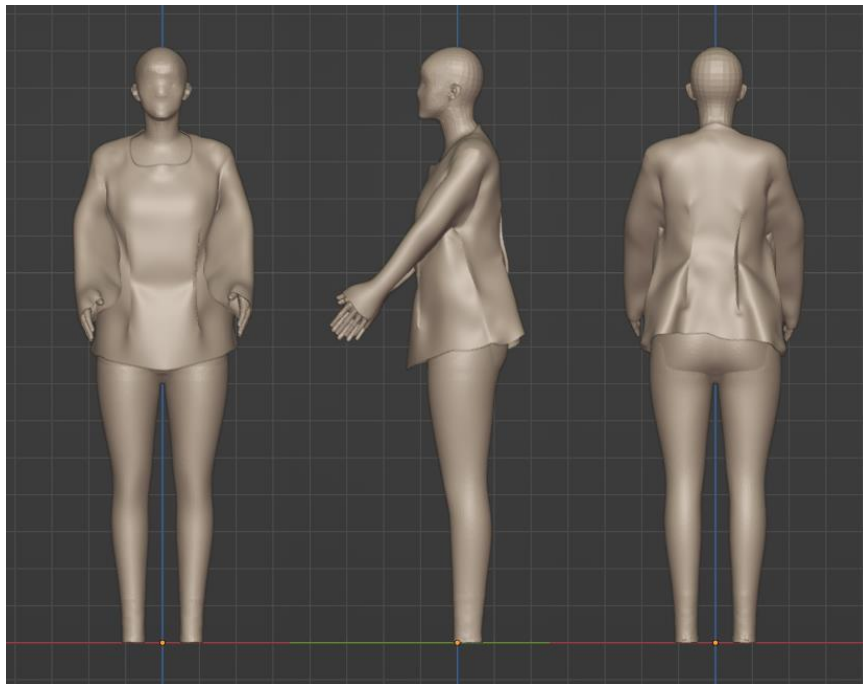


Rysunek Z 25. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 02P po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

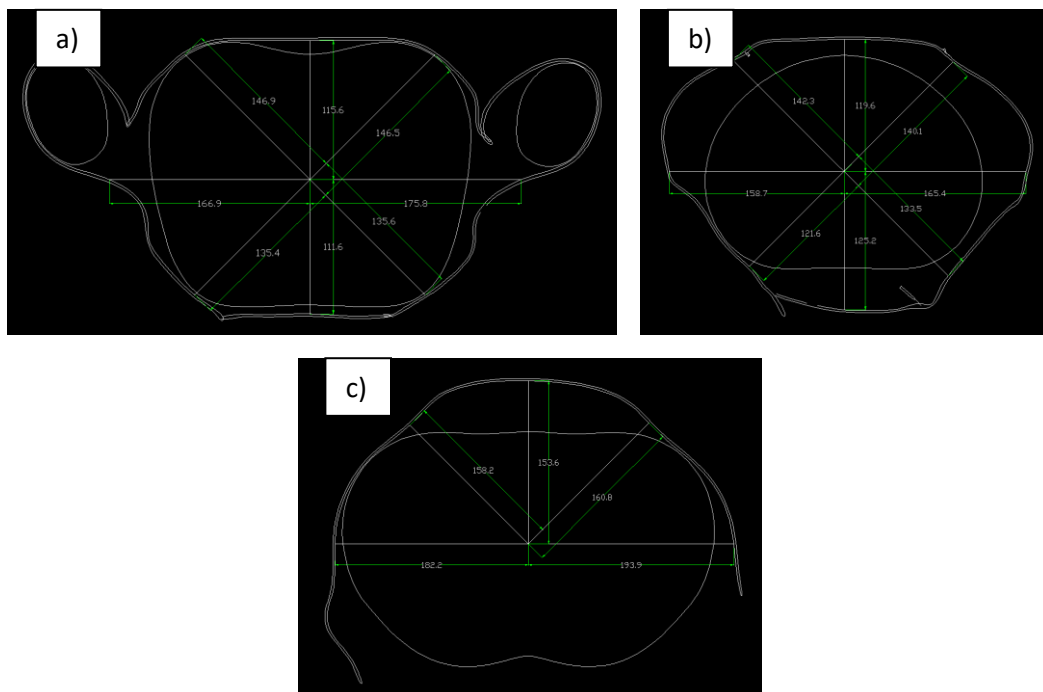


Rysunek Z 26. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

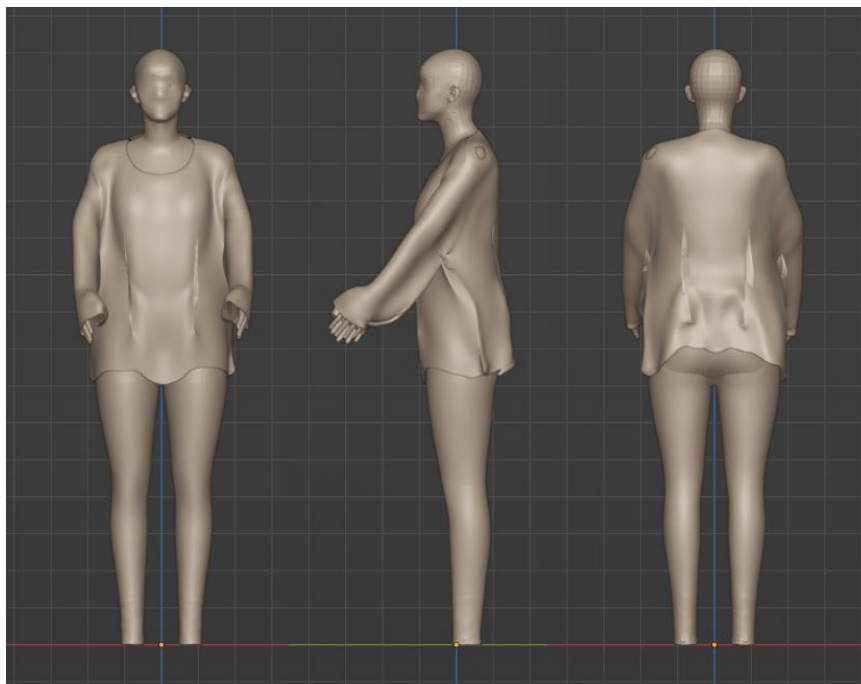
c) BLUZKA 03Z



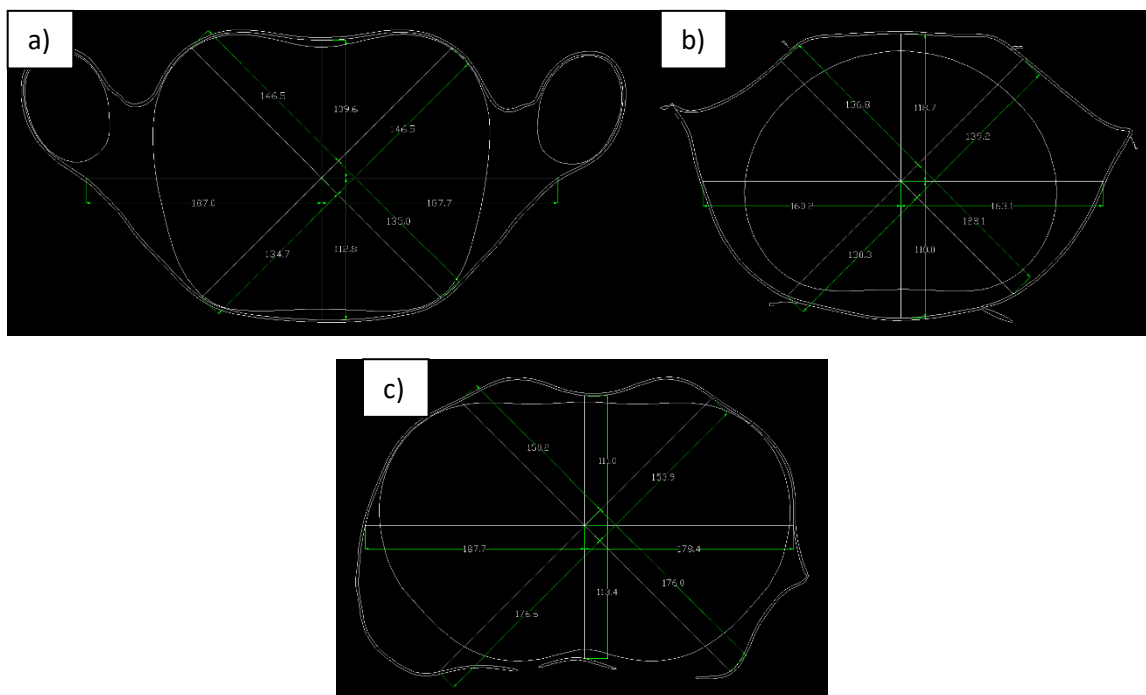
Rysunek Z 27. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 03Z osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 28. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB



Rysunek Z 29. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 03Z po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

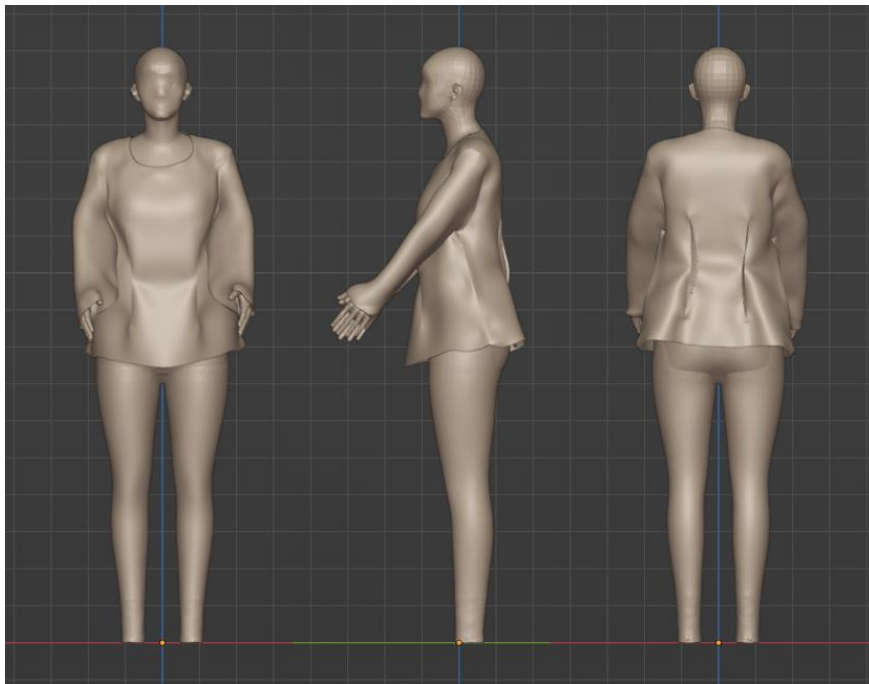


Rysunek Z 30. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

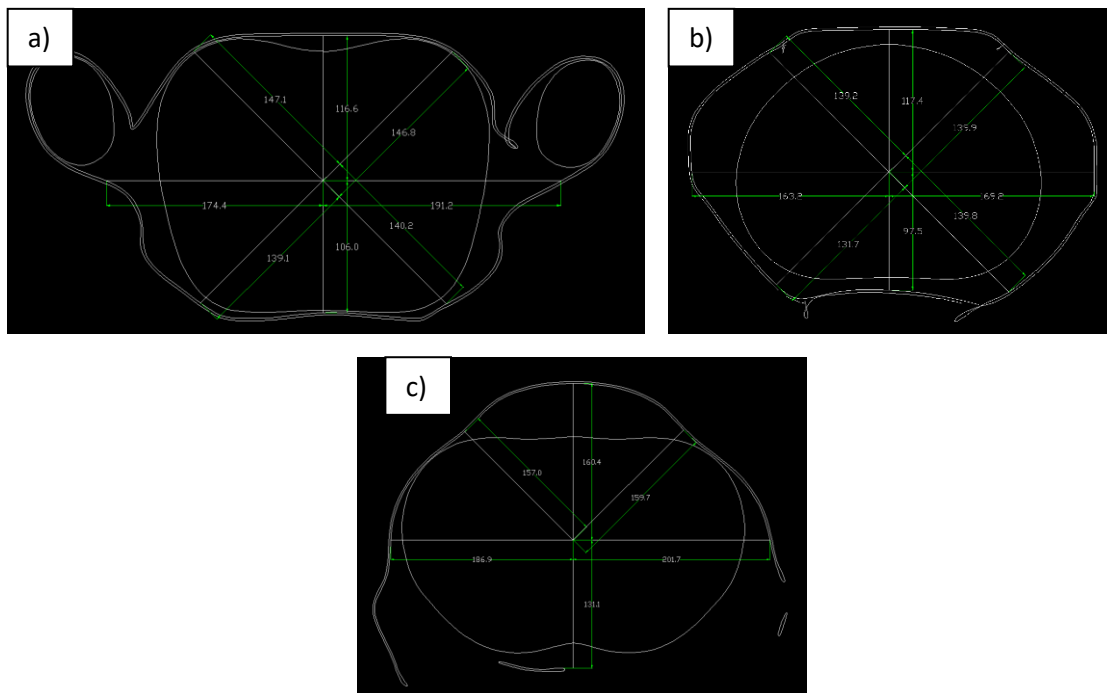
Załącznik nr 4

SYMULACJE BLUZEK 01B, 02P, 03Z ORAZ
PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH KLATKI PIERSIOWEJ,
TALII I BIODER (PPKP, PPT, PPB) DLA
WSPÓŁCZYNNIKA PODATNOŚCI NA FORMOWANIE F_s

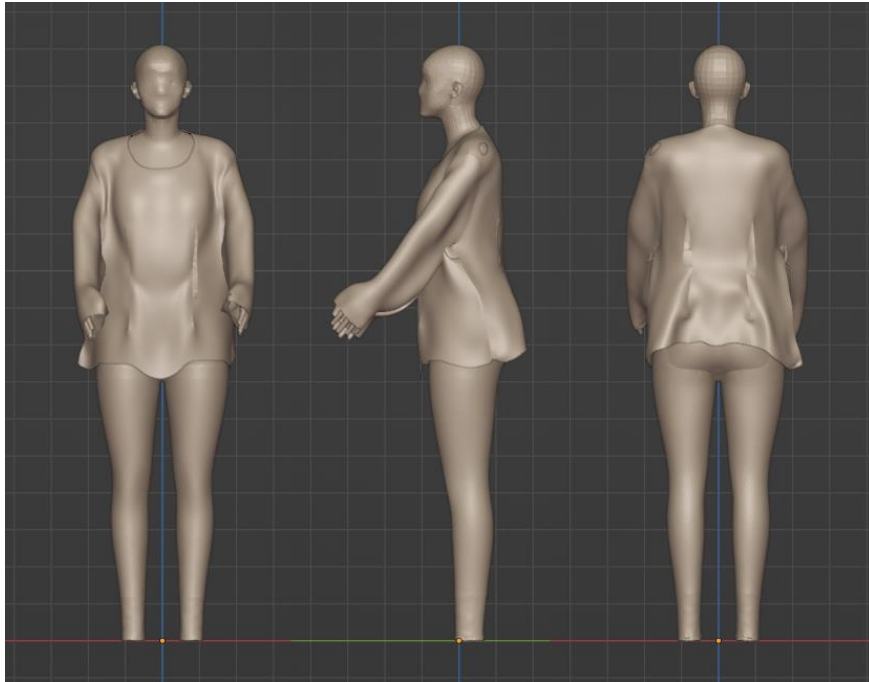
a) BLUZKA 01B



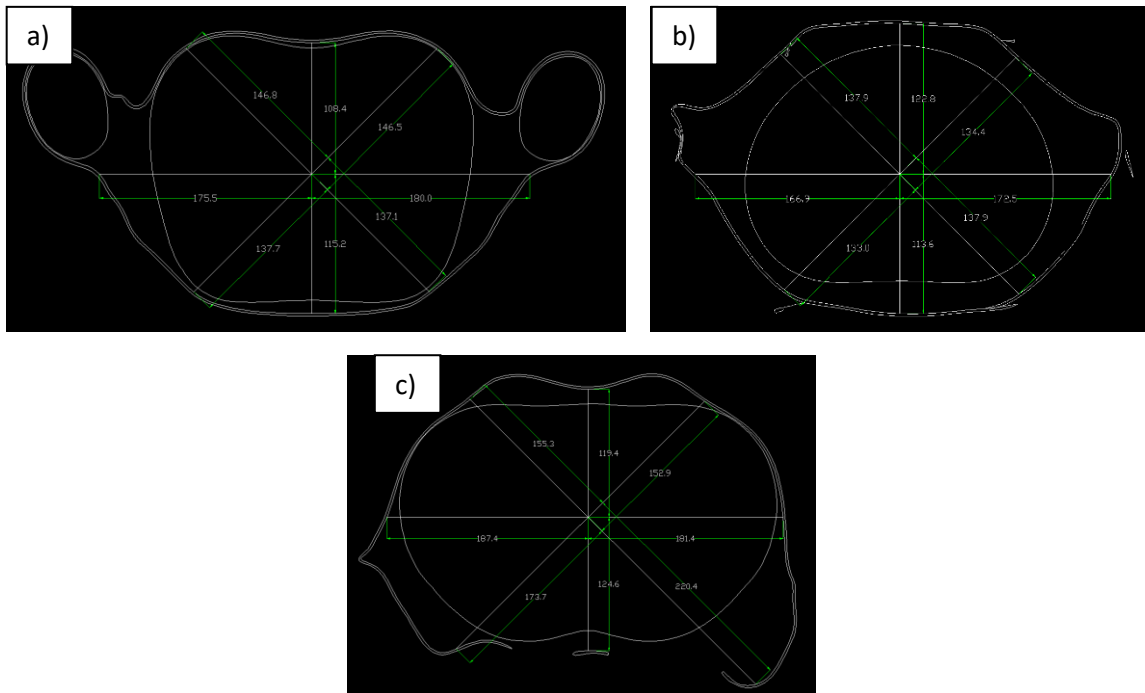
Rysunek Z 31. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 01B osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 32. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

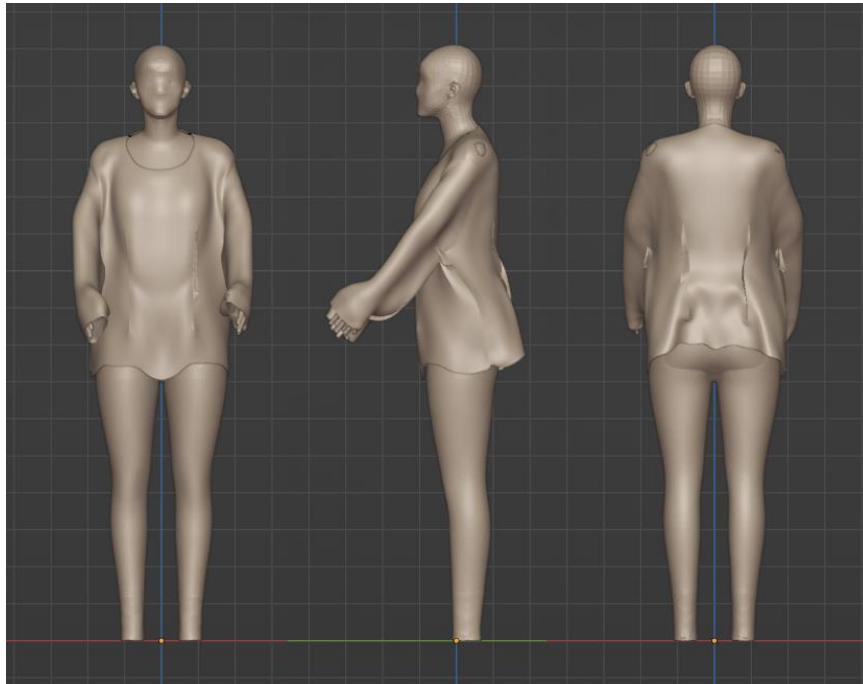


Rysunek Z 33. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 01B po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

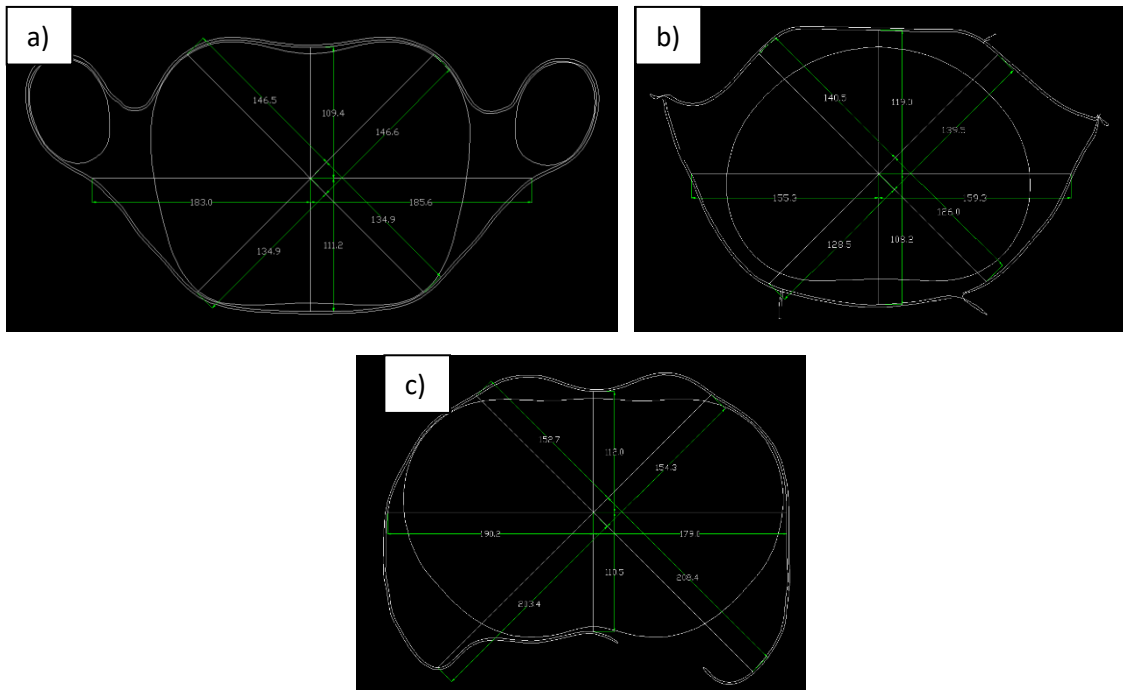


Rysunek Z 34. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B po skosie 45° , a) PPKP, b) PPT, c) PPB

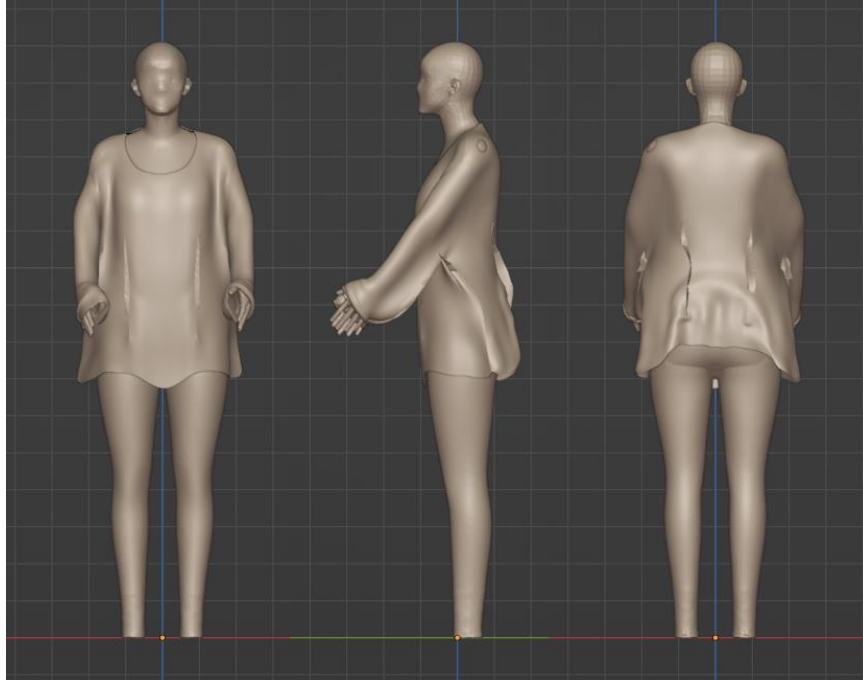
b) BLUZKA 02P



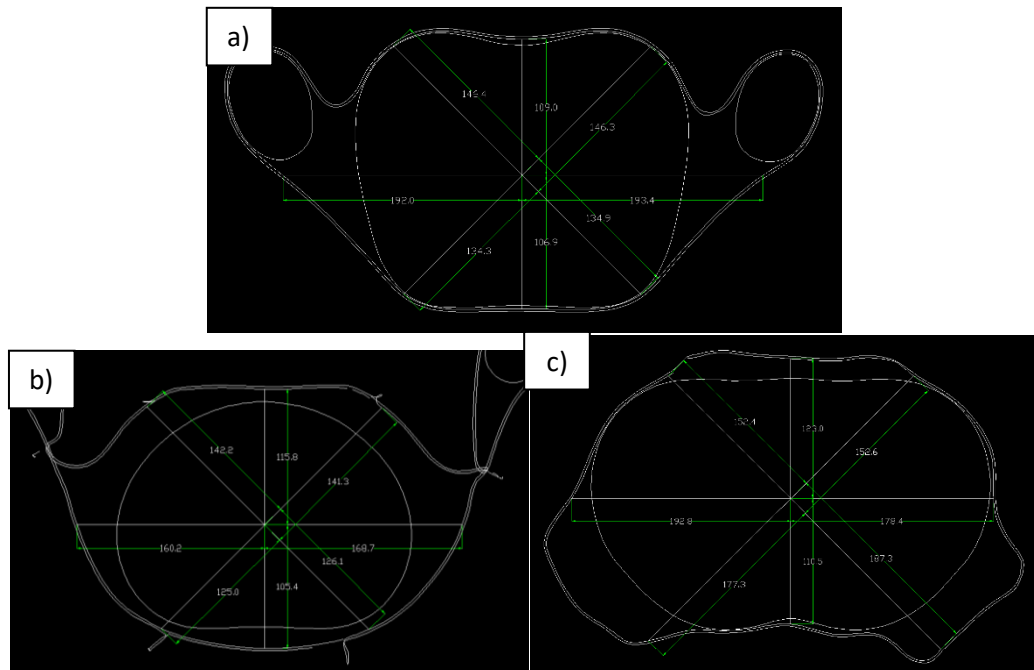
Rysunek Z 35. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 02P osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 36. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P osnowa , a) PPKP, b) PPT, c) PPB

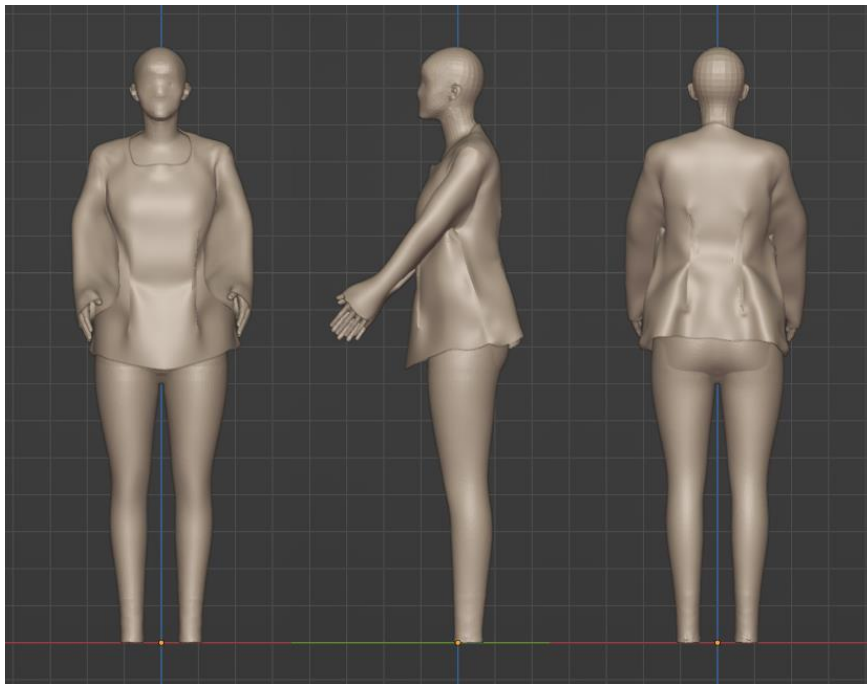


Rysunek Z 37. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 02P po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

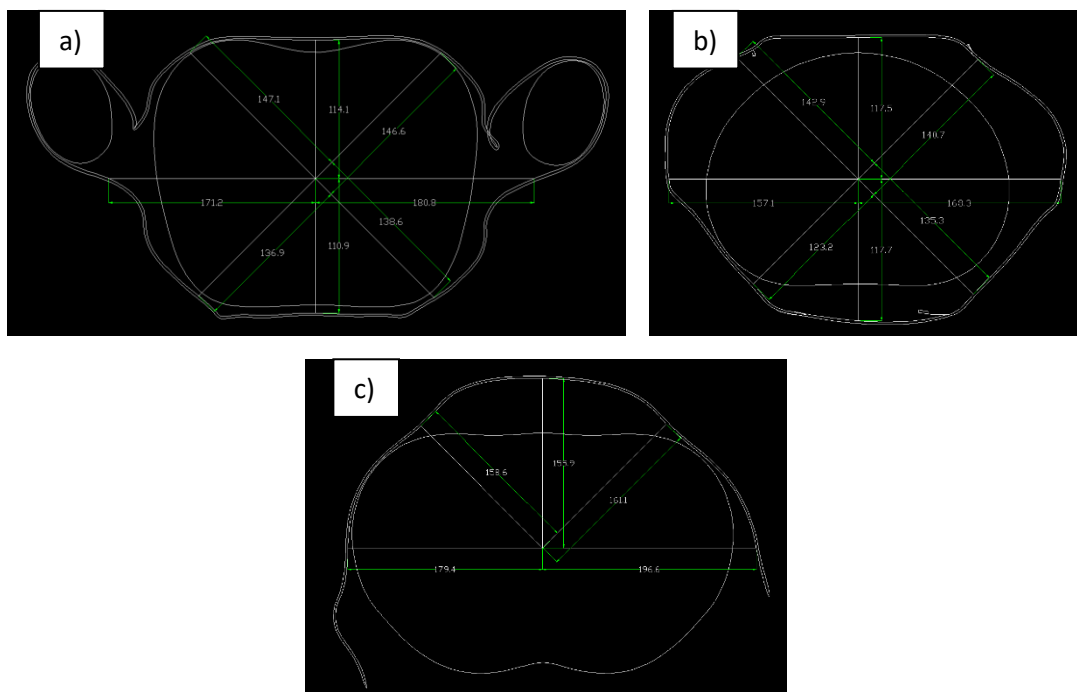


Rysunek Z 38. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P po skosie 45° , a) PPKP, b) PPT, c) PPB

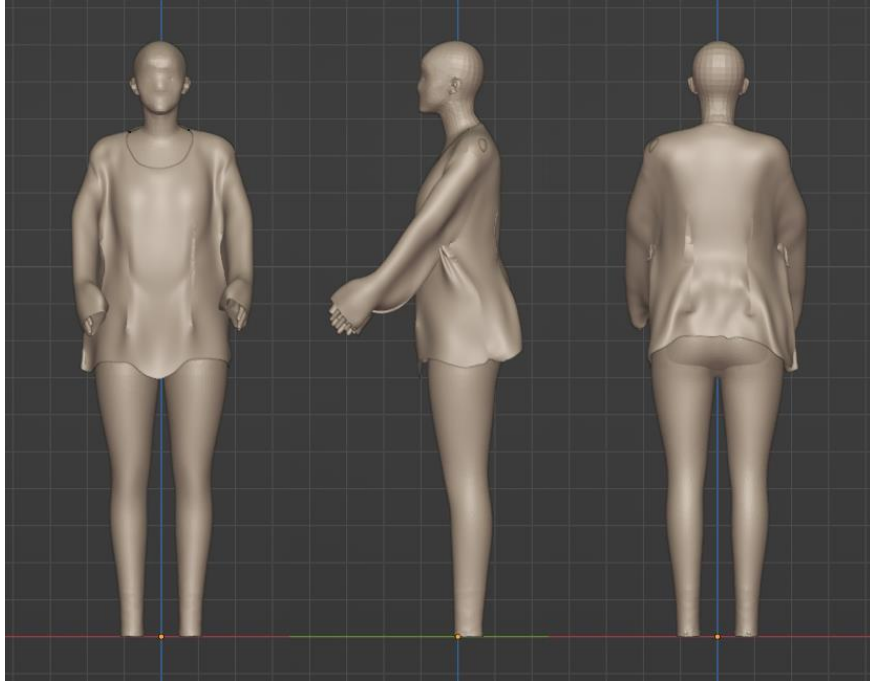
c) BLUZKA 03Z



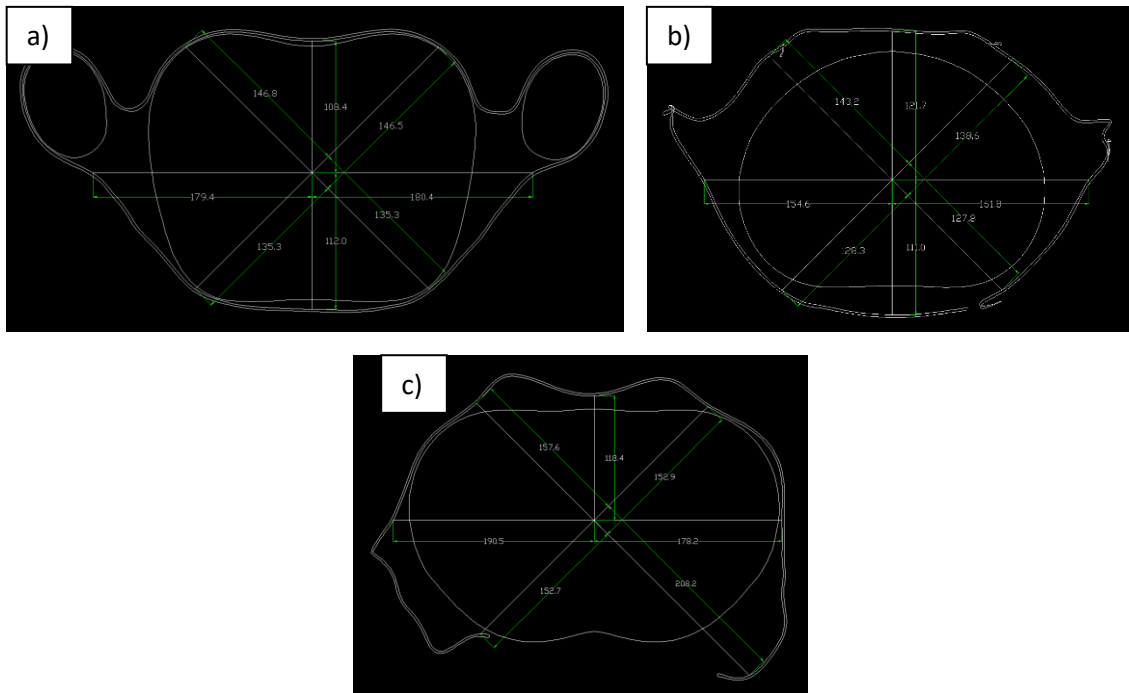
Rysunek Z 39. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 03Z osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 40. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB



Rysunek Z 41. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 03Z po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

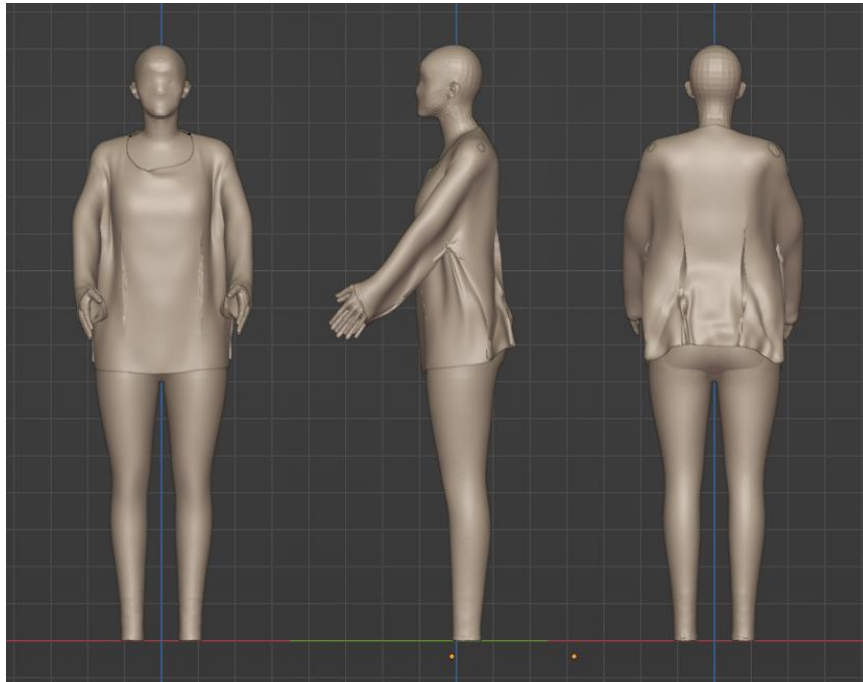


Rysunek Z 42 Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z po skosie 45° , a) PPKP, b) PPT, c) PPB

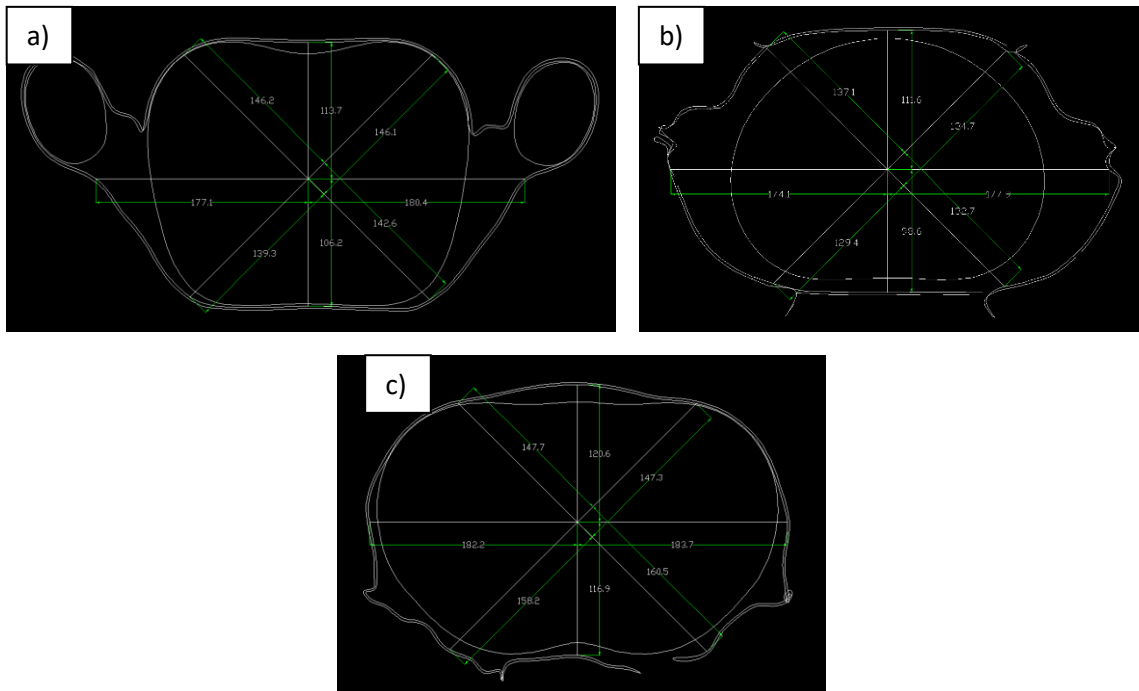
Załącznik nr 5

SYMULACJE BLUZEK 01B, 02P, 03Z ORAZ
PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH KLATKI PIERSIOWEJ,
TALII I BIODER (PPKP, PPT, PPB) DLA
WSPÓŁCZYNNIKA PODATNOŚCI NA FORMOWANIE
 F_{KES}

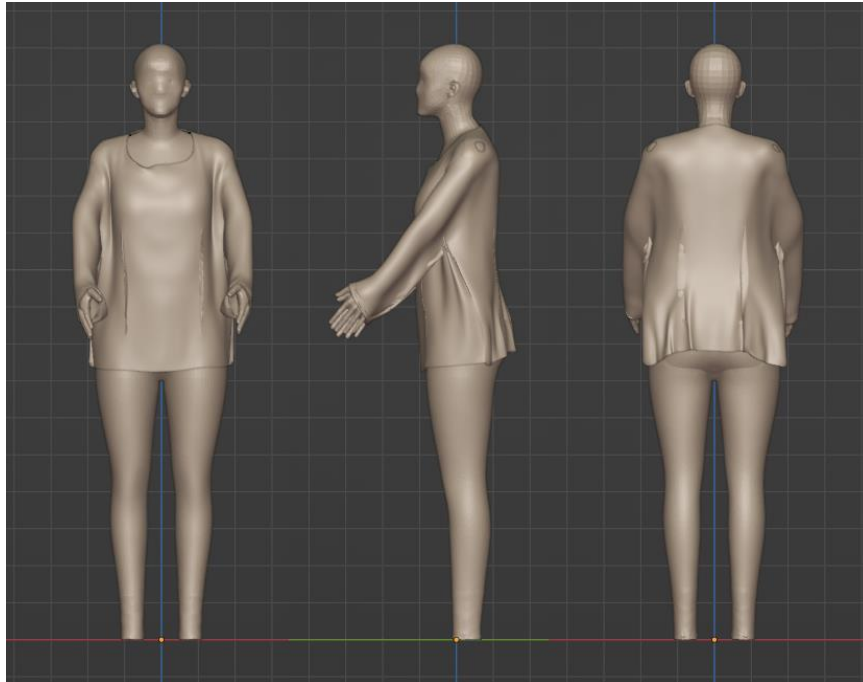
a) BLUZKA 01B



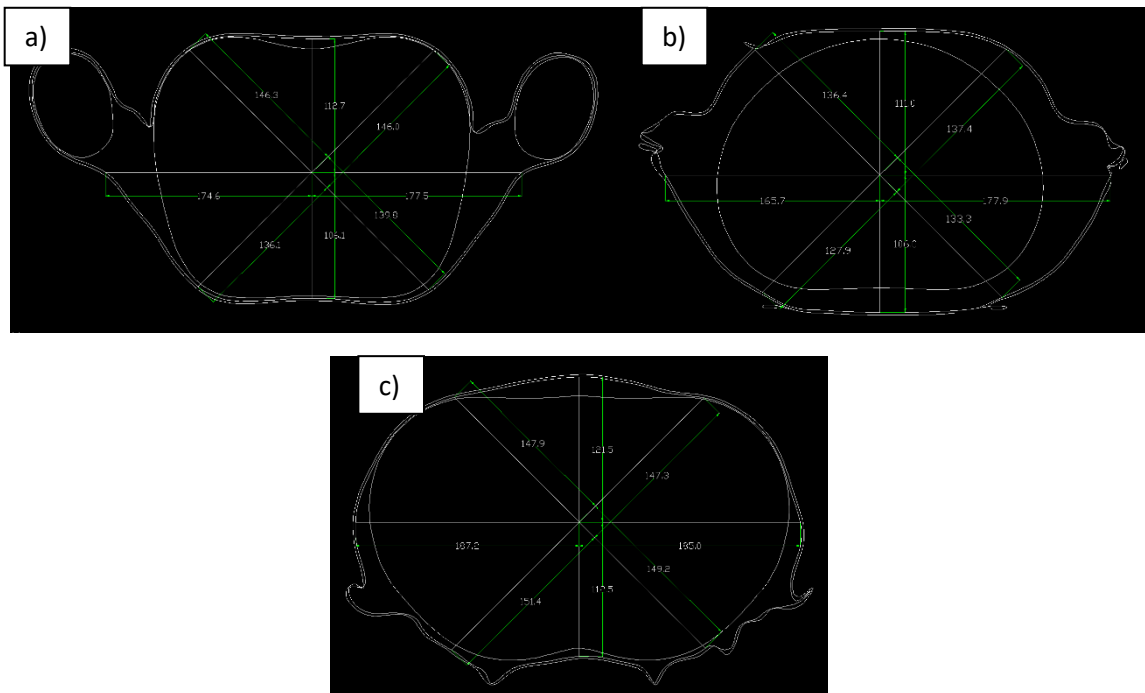
Rysunek Z 43. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 01B osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 44. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

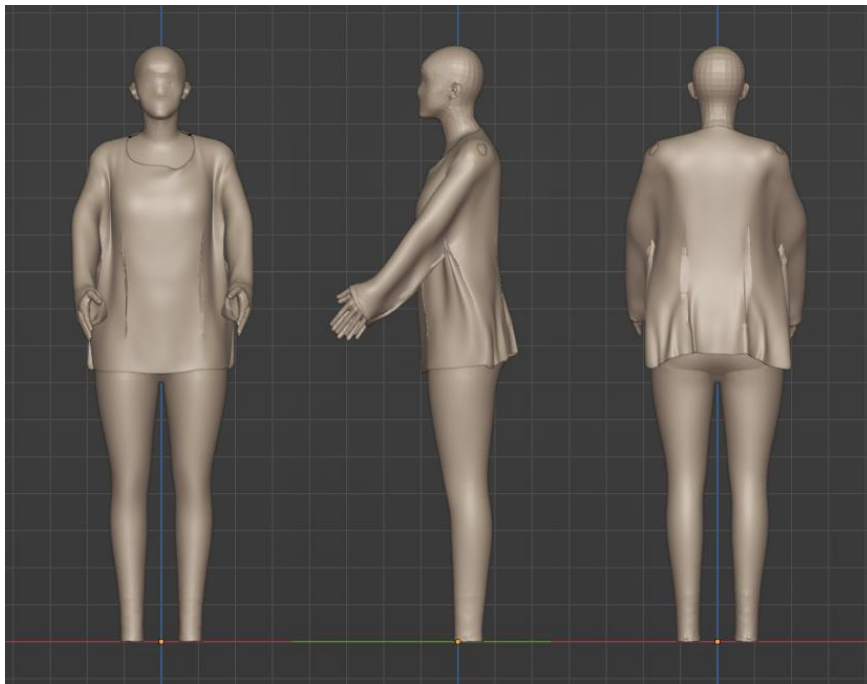


Rysunek Z 45. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 01B po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

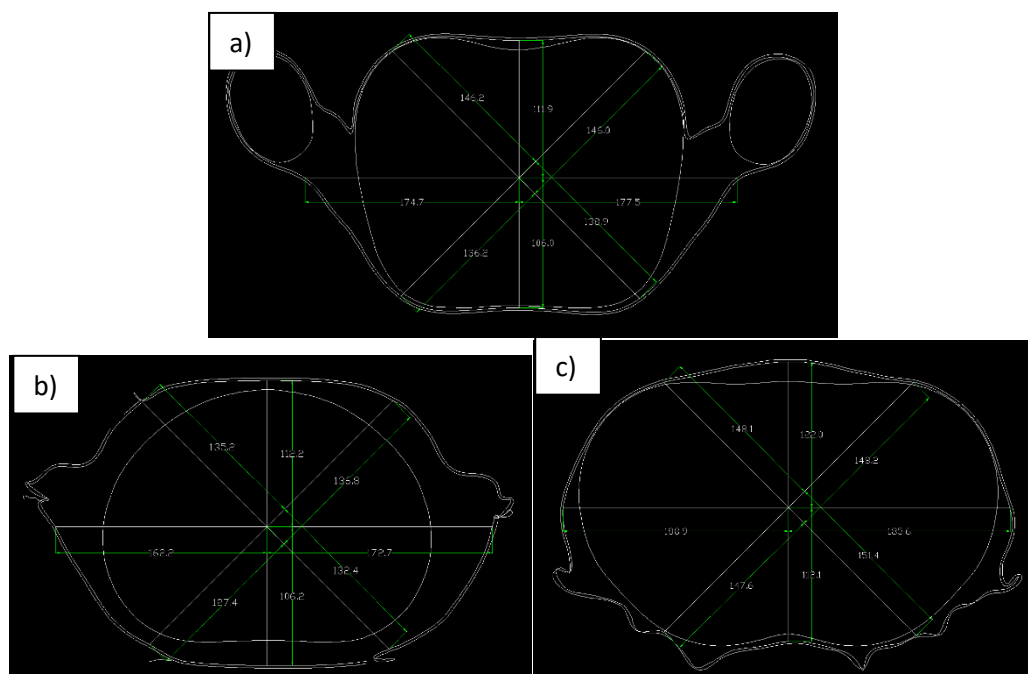


Rysunek Z 46. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 01B po skosie 45° , a) PPKP, b) PPT, c) PPB

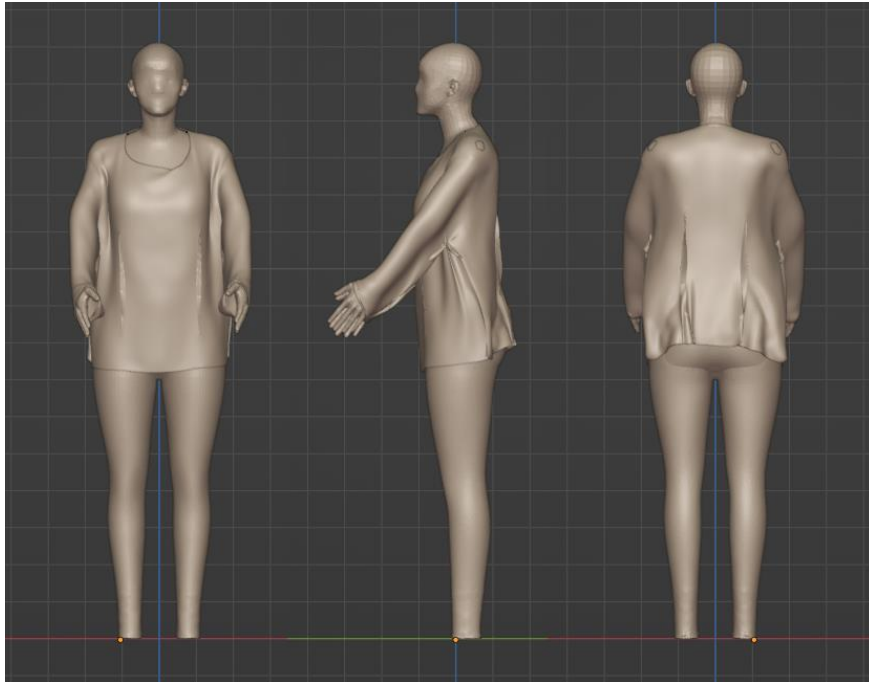
b) BLUZKA 02P



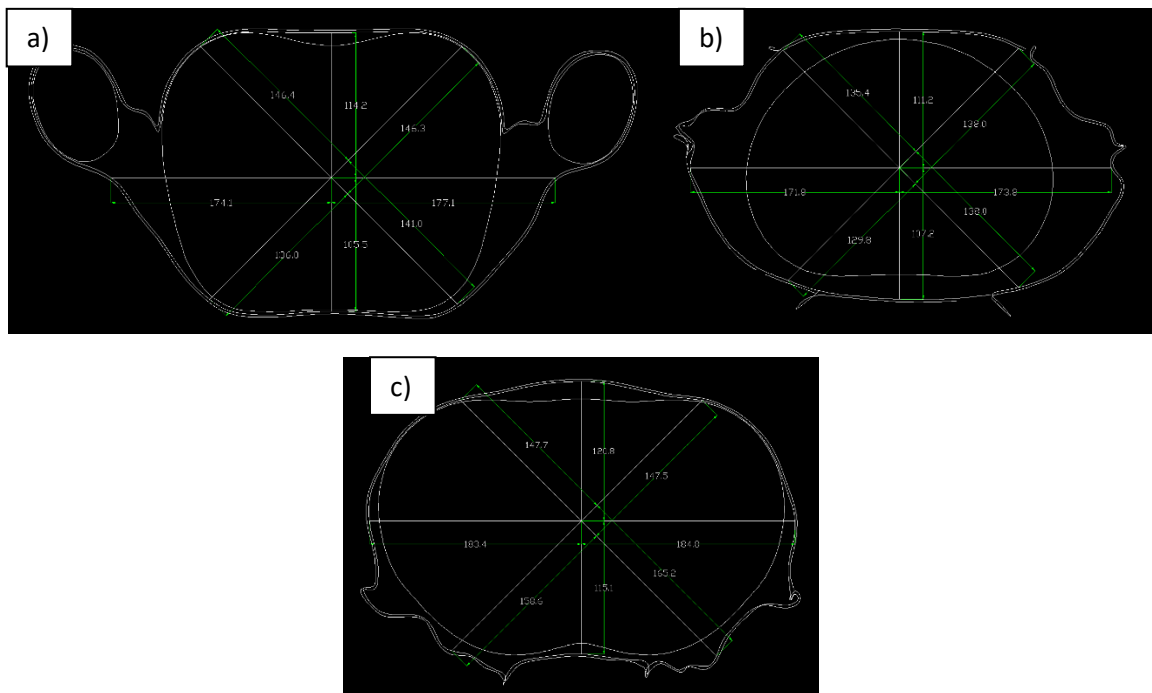
Rysunek Z 47. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 02P osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 48. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

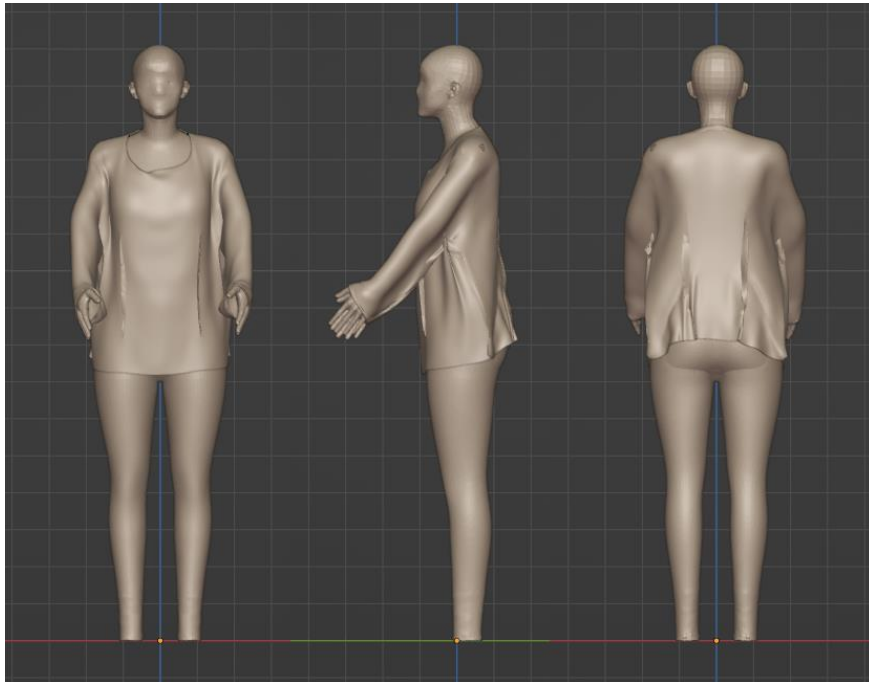


Rysunek Z 49. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 02P po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

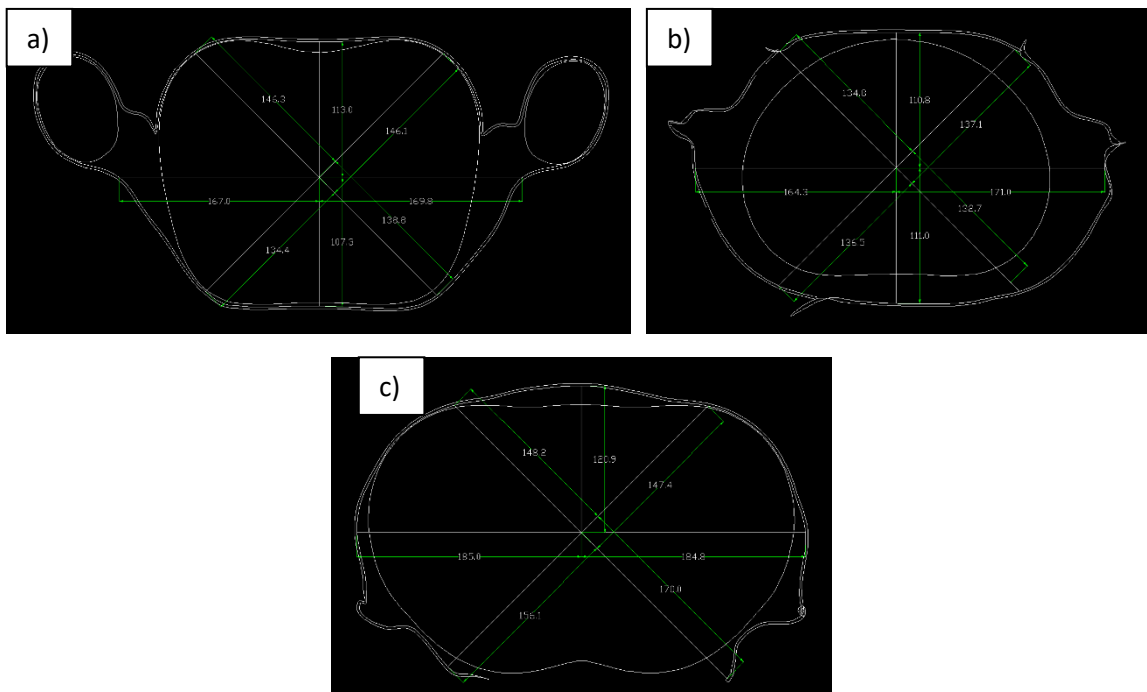


Rysunek Z 50. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 02P po skosie 45°, a) PPKP, b) PPT, c) PPB

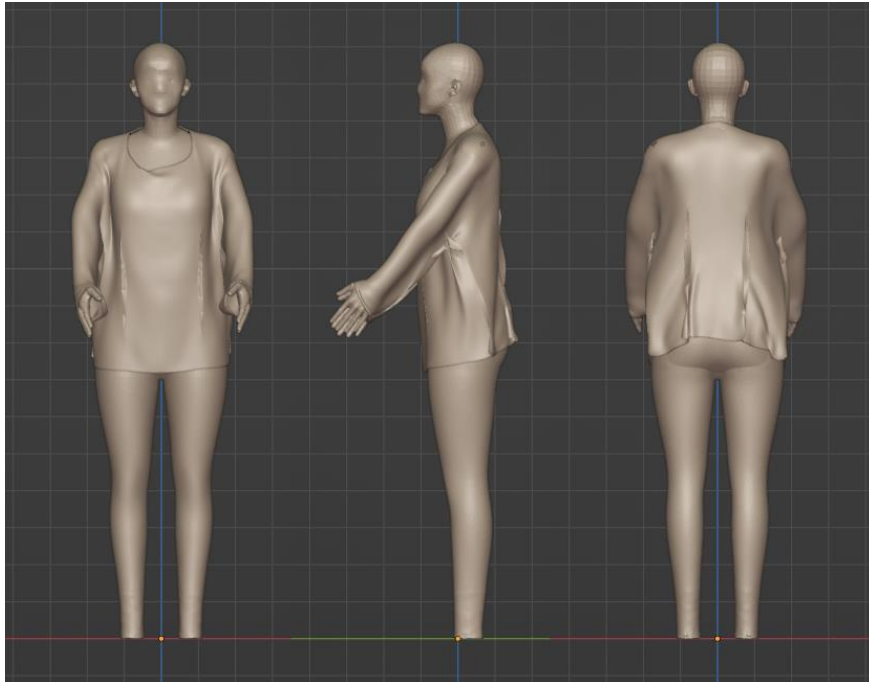
c) BLUZKA 03Z



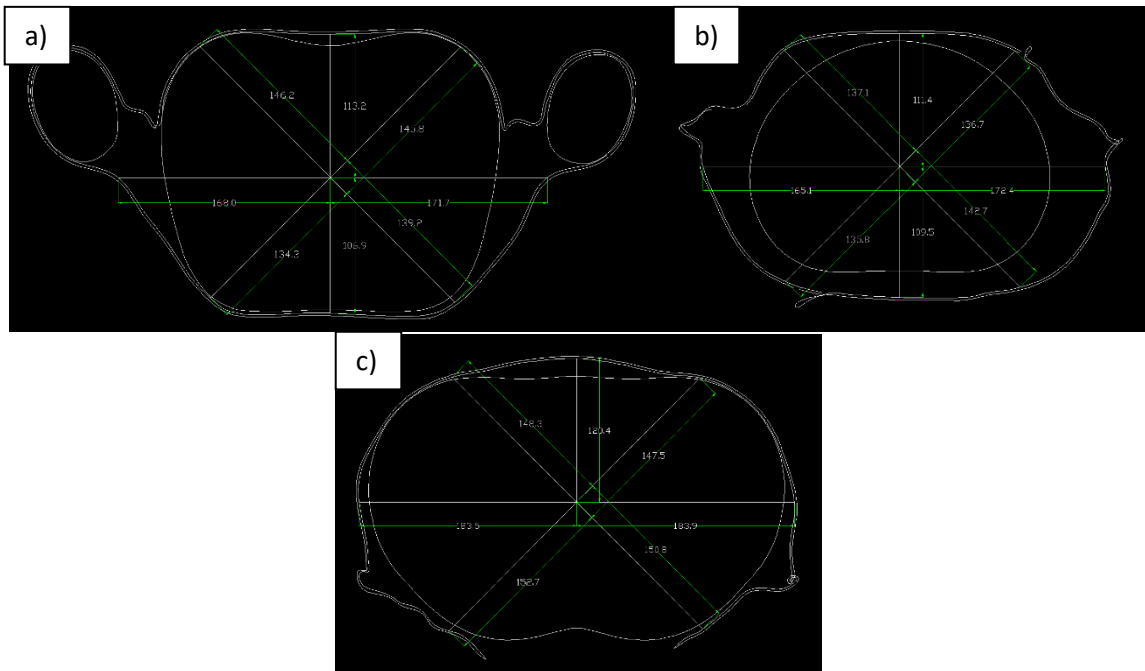
Rysunek Z 51. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 03Z osnowa widok z przodu, boku i tyłu



Rysunek Z 52. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z osnowa, a) PPKP, b) PPT, c) PPB



Rysunek Z 53. Symulacja bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 03Z po skosie 45° widok z przodu, boku i tyłu

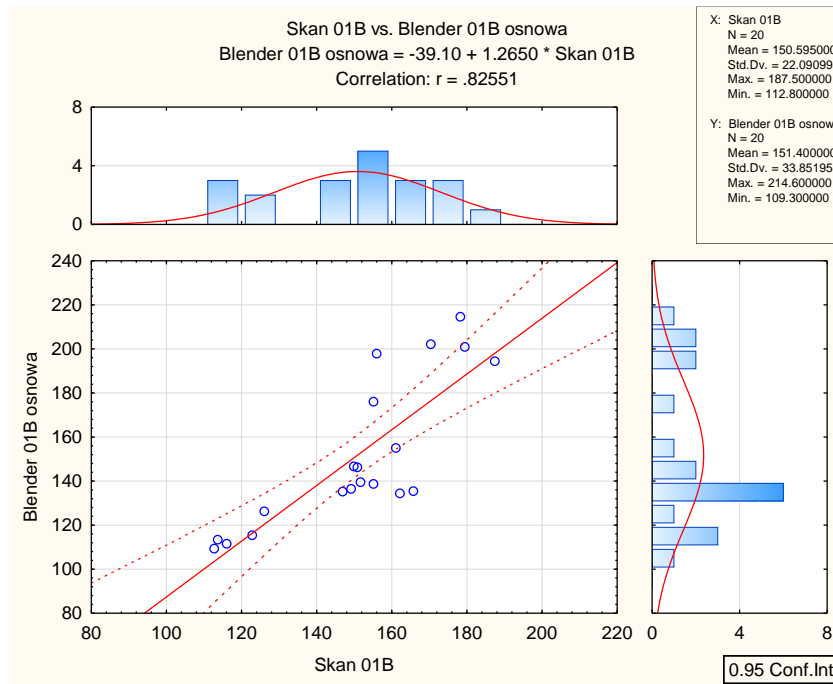


Rysunek Z 54. Przekroje poprzeczne awatara i bluzki dla tkaniny 03Z po skosie 45° , a) PPKP, b) PPT, c) PPB

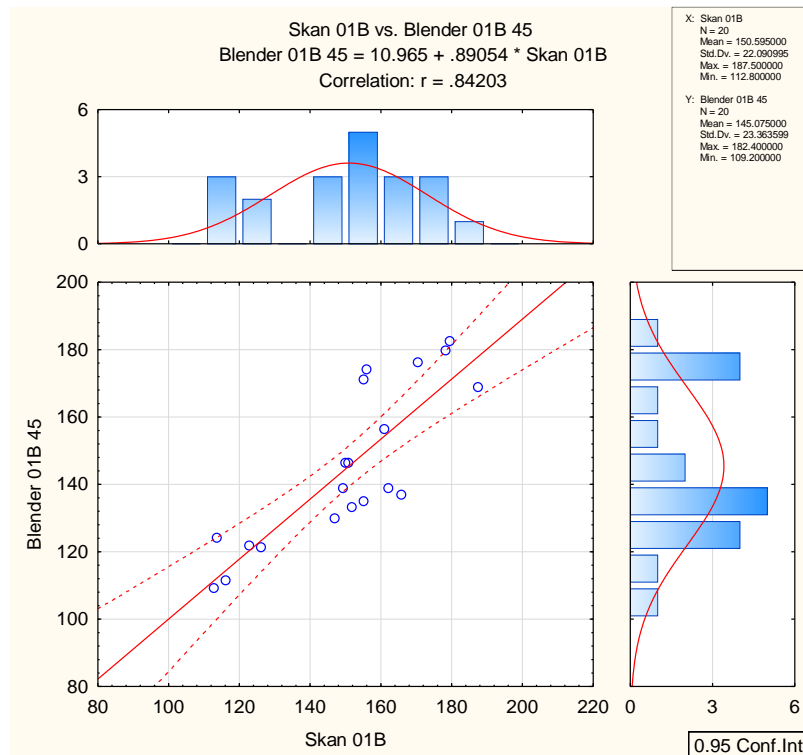
Załącznik nr 6

WYKRESY KORELACJI LINIOWEJ DLA SKANU BLUZKI Z
SYMULACJĄ BLUZKI W PROGRAMIE BLENDER I Z
ZAPROPONOWANYMI WSPÓŁCZYNNIKAMI
PODATNOŚCI NA FORMOWANIE

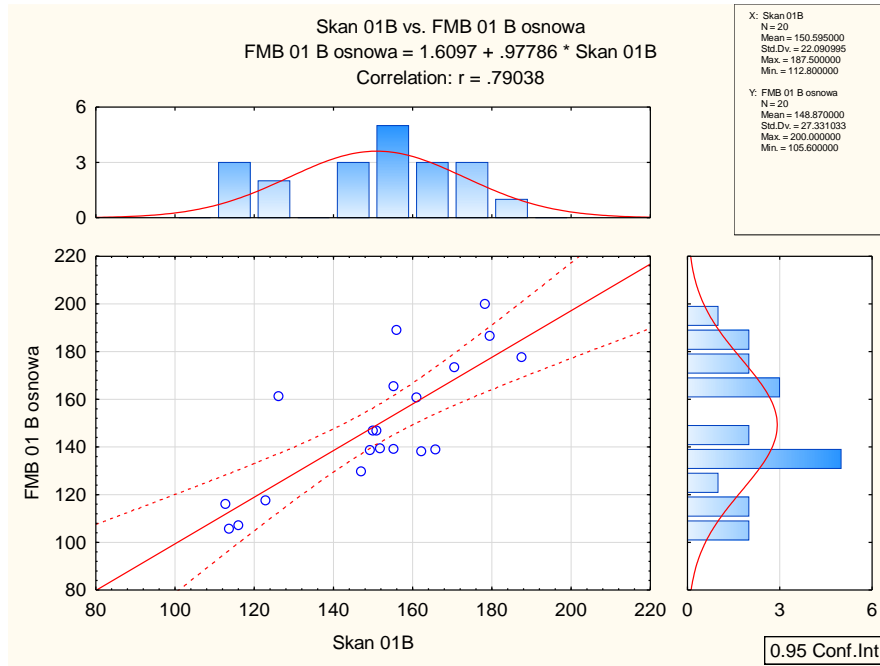
a) BLUZKA 01B



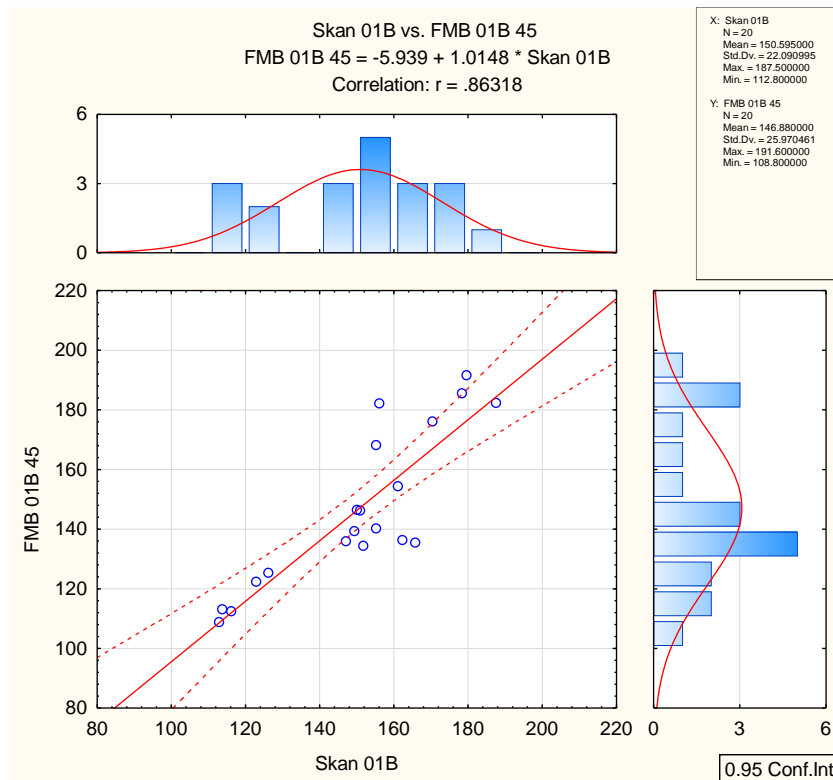
Rysunek Z 55. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki w programie Blender dla tkaniny 01B osnowa



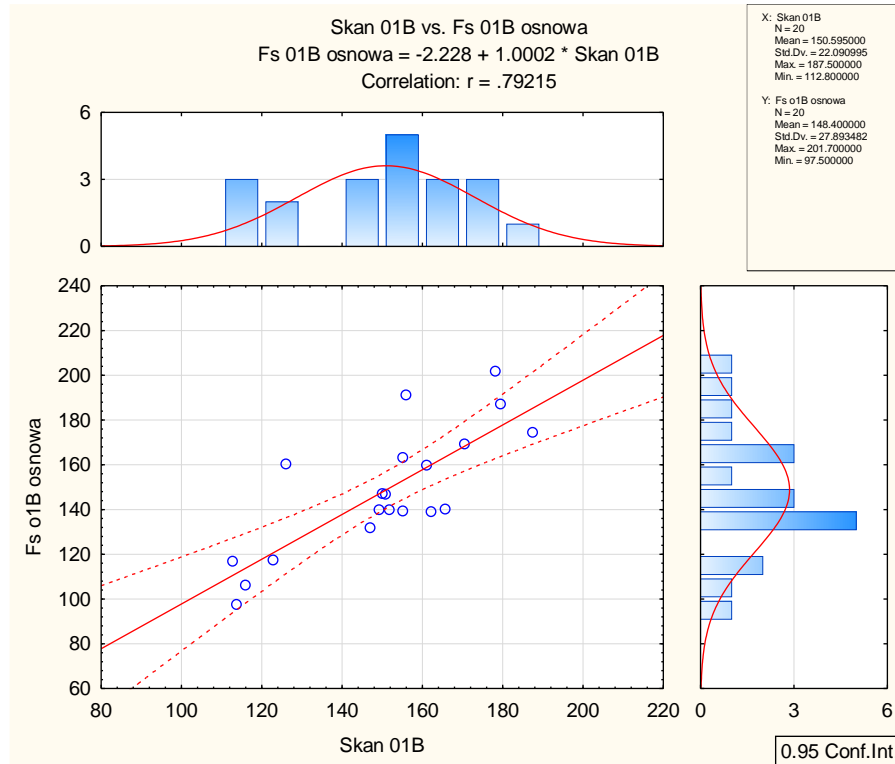
Rysunek Z 56. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki w programie Blender dla tkaniny 01B po skosie 45°



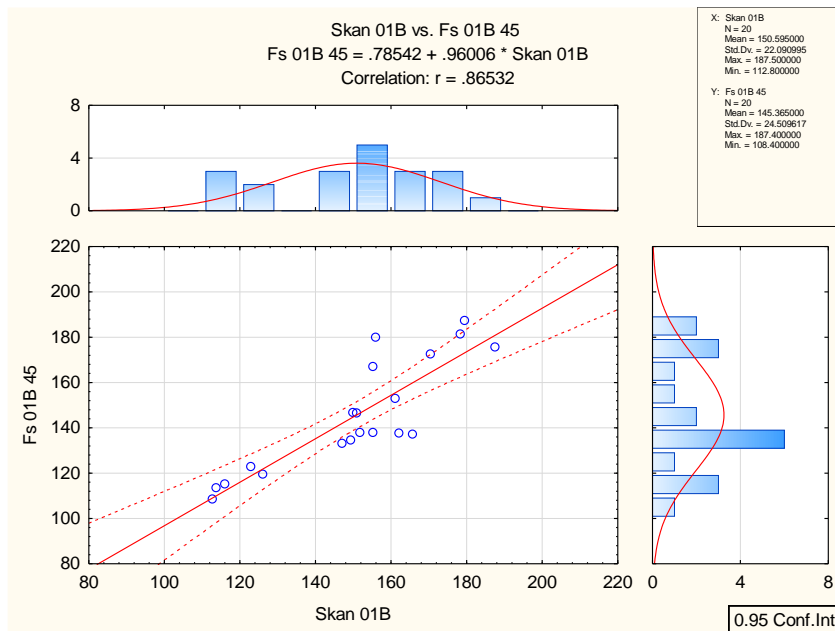
Rysunek Z 57. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 01B osnowa



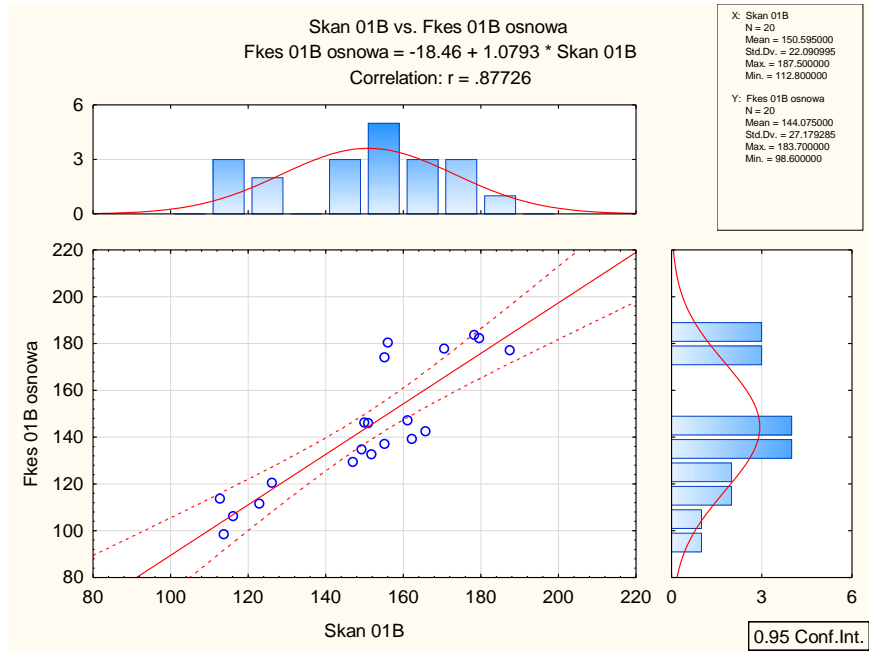
Rysunek Z 58. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 01B po skosie 45°



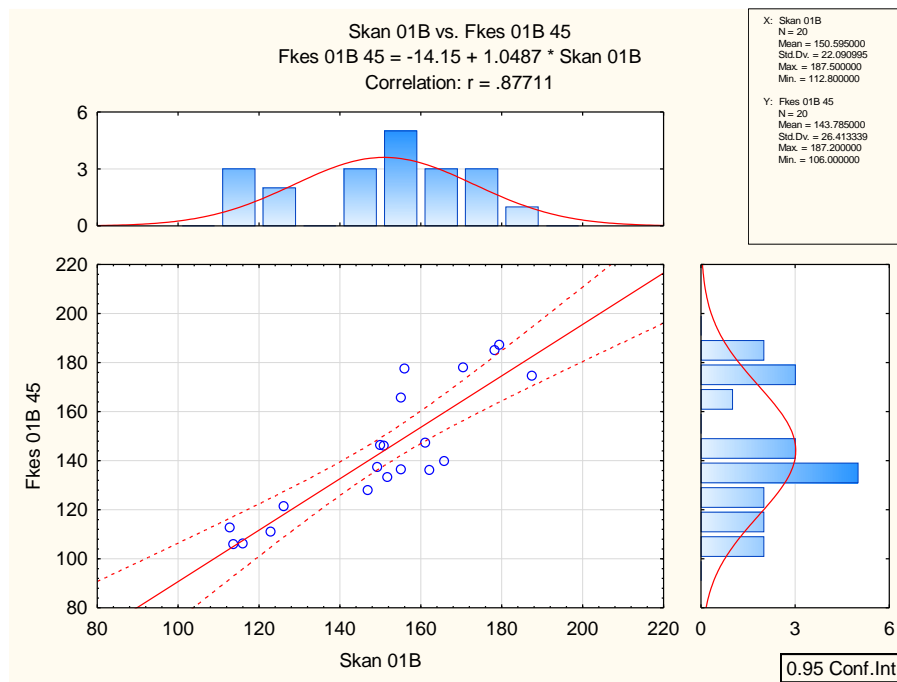
Rysunek Z 59. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 01B osnowa



Rysunek Z 60. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 01B po skosie 45°

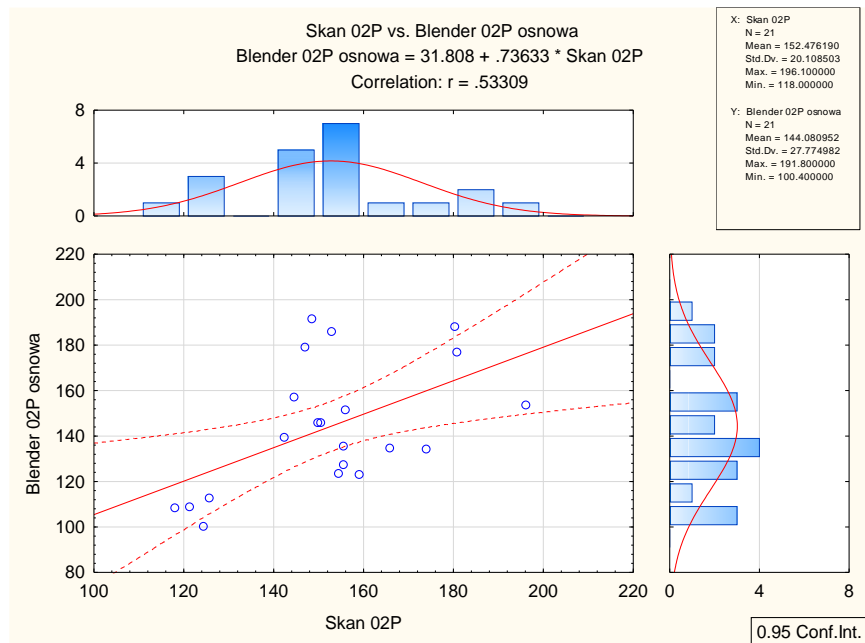


Rysunek Z 61. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 01B osnowa

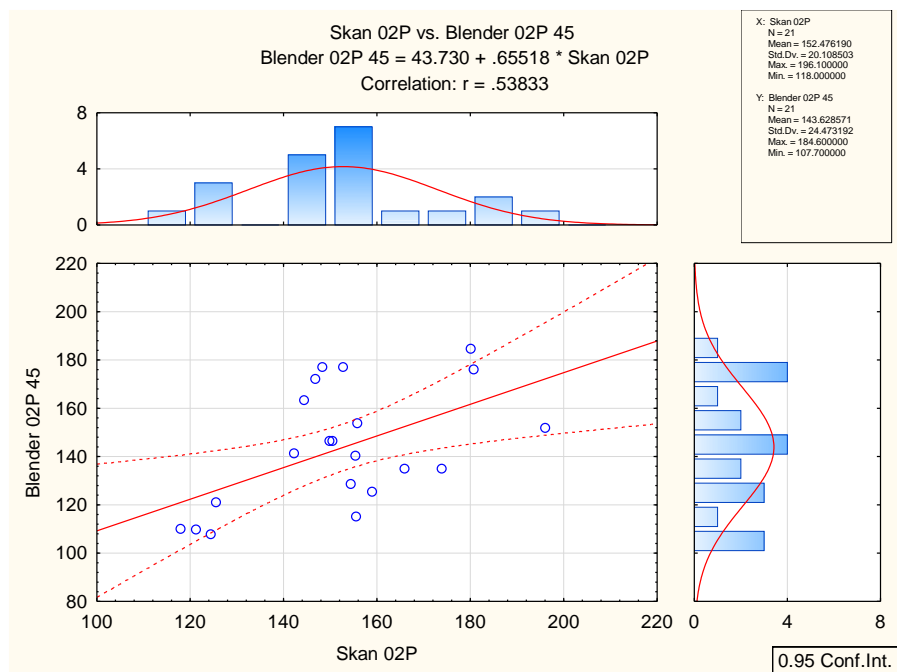


Rysunek Z 62. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 01B po skosie 45°

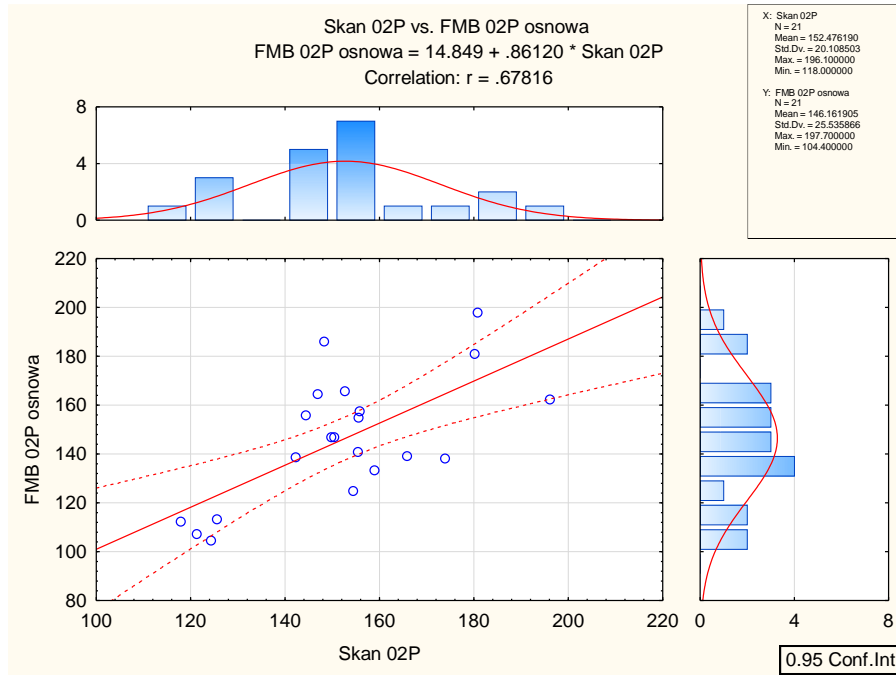
b) BLUZKA 02P



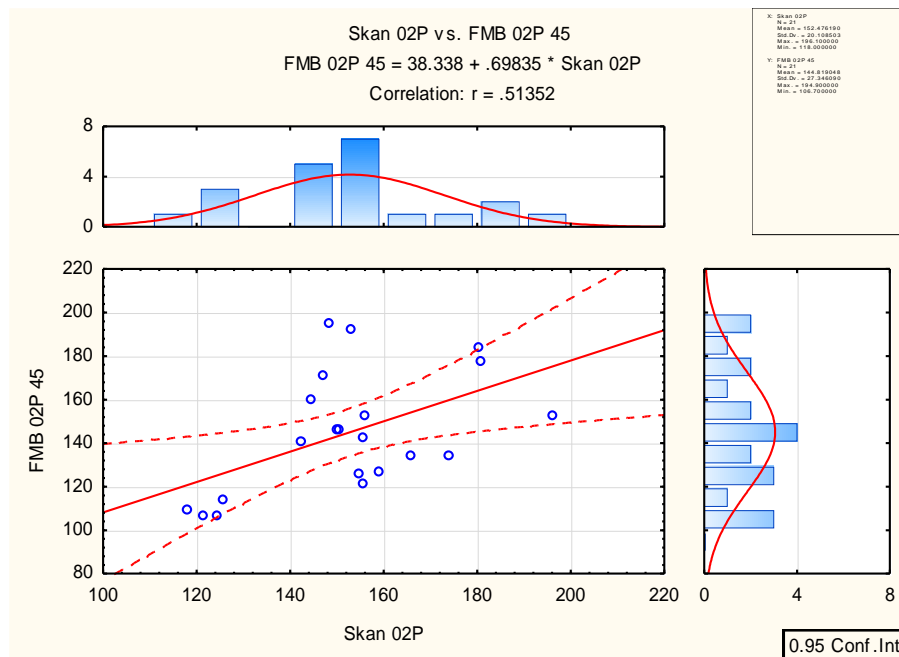
Rysunek Z 63. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem programu Blender dla tkaniny 02P osnowa



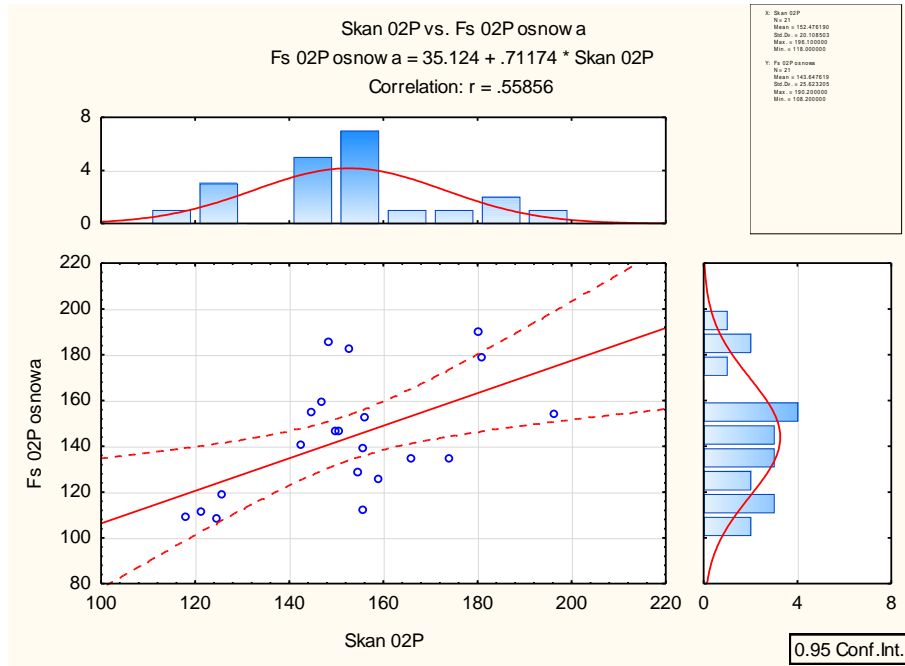
Rysunek Z 64. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem programu Blender dla tkaniny 02P po skosie 45°



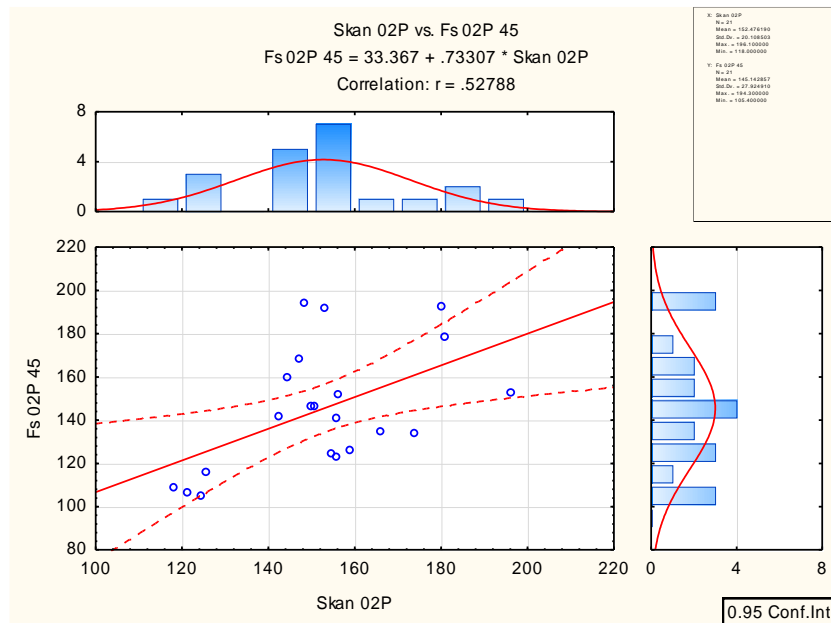
Rysunek Z 65. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 02P osnowa



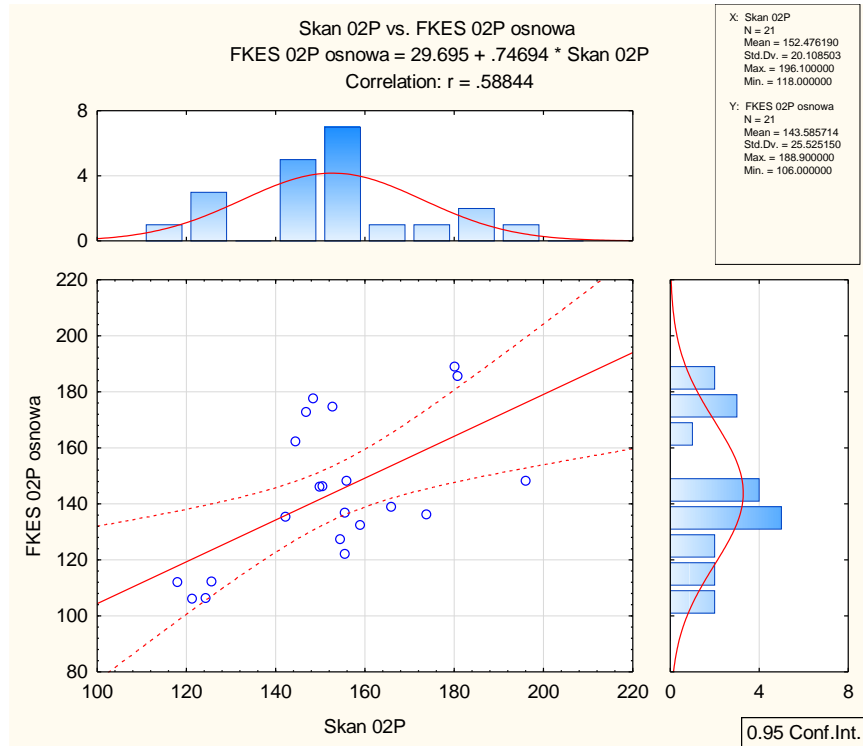
Rysunek Z 66. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 02P po skosie 45°



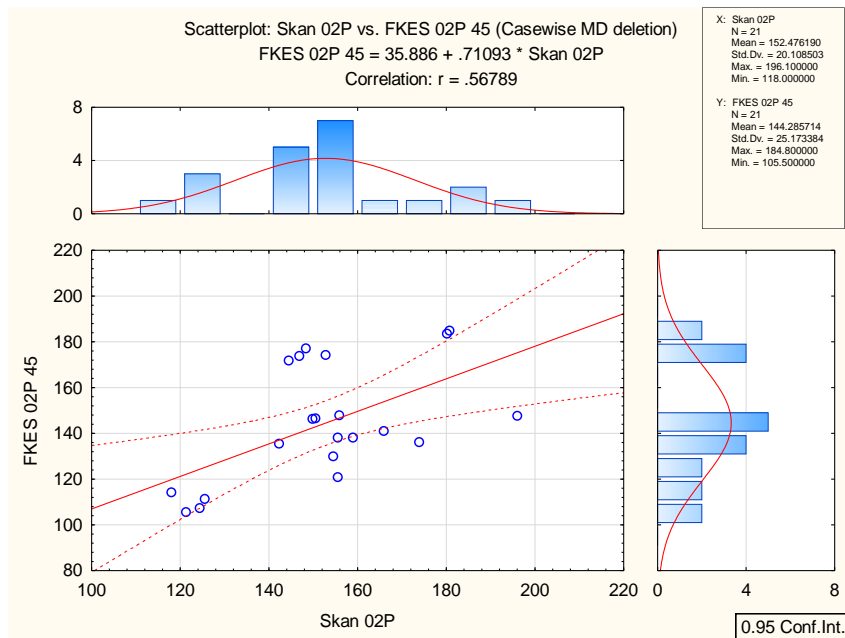
Rysunek Z 67. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 02P osnowa



Rysunek Z 68. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 02P po skosie 45°

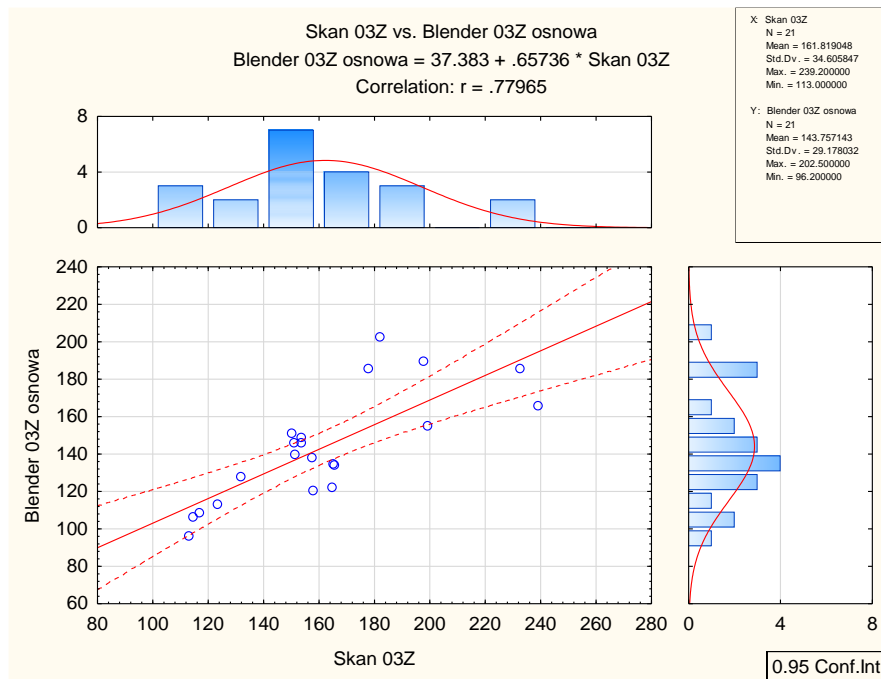


Rysunek Z 69. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 02P osnowa

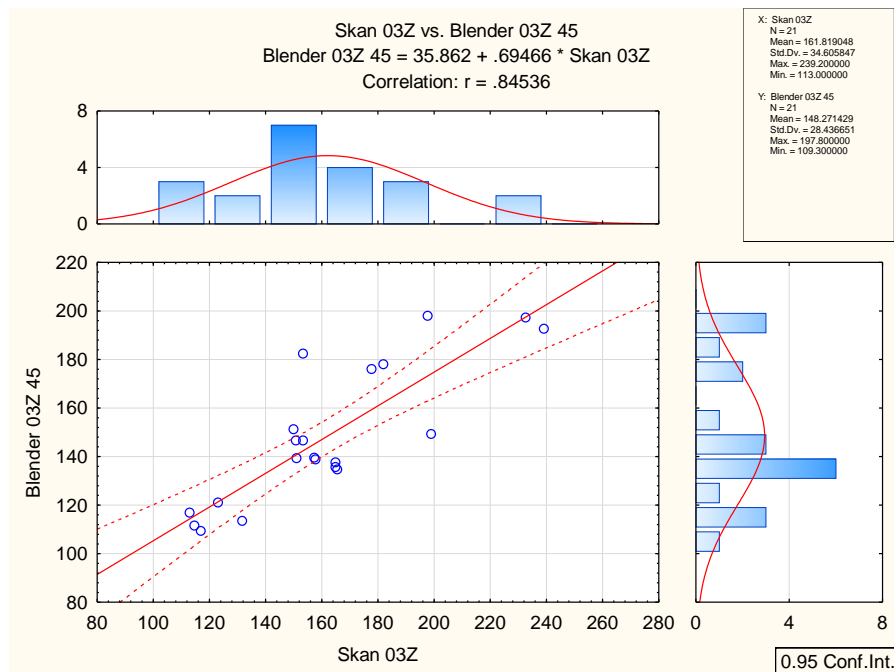


Rysunek Z 70. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 02P 45

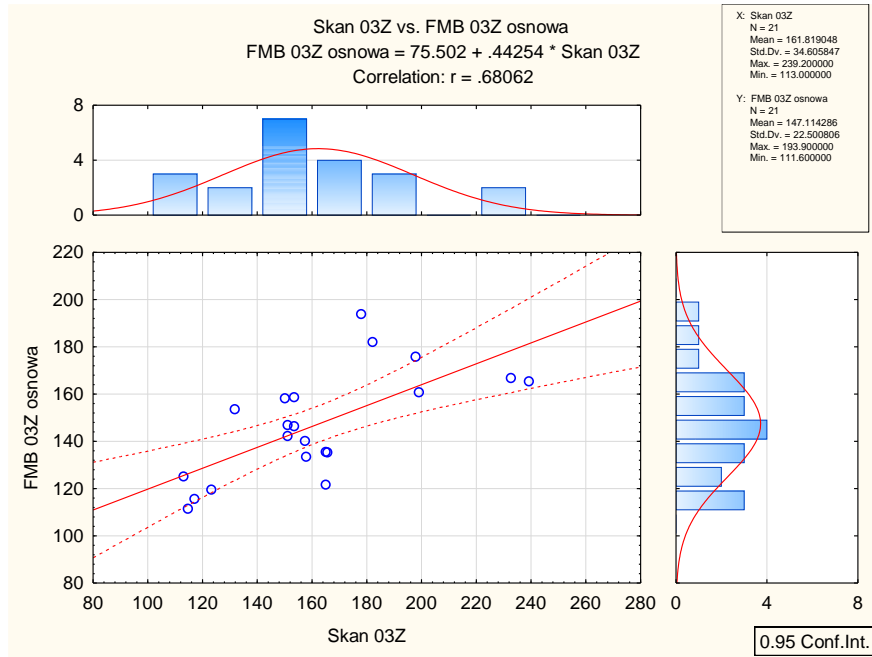
c) BLUZKA 03Z



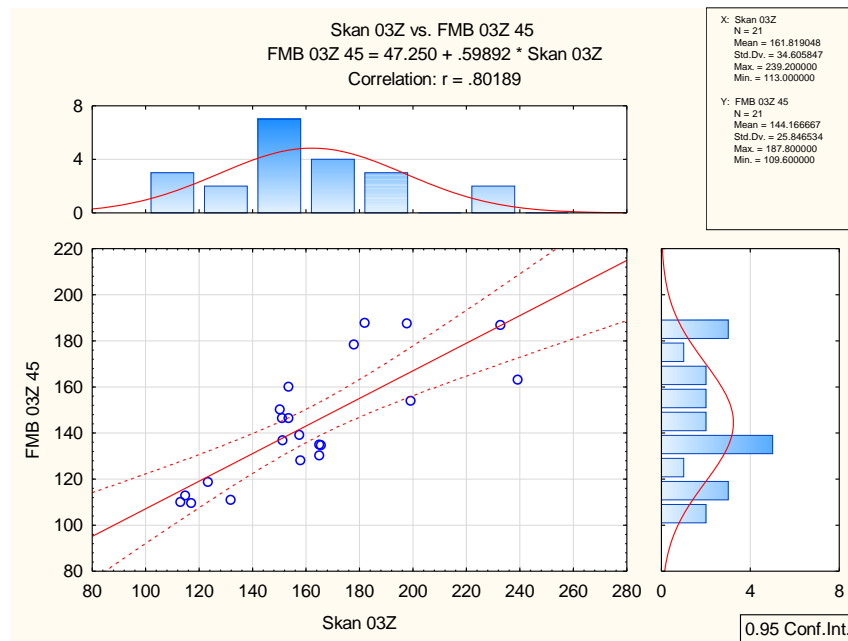
Rysunek Z 71. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem programu Blender dla tkaniny 03Z osnowa



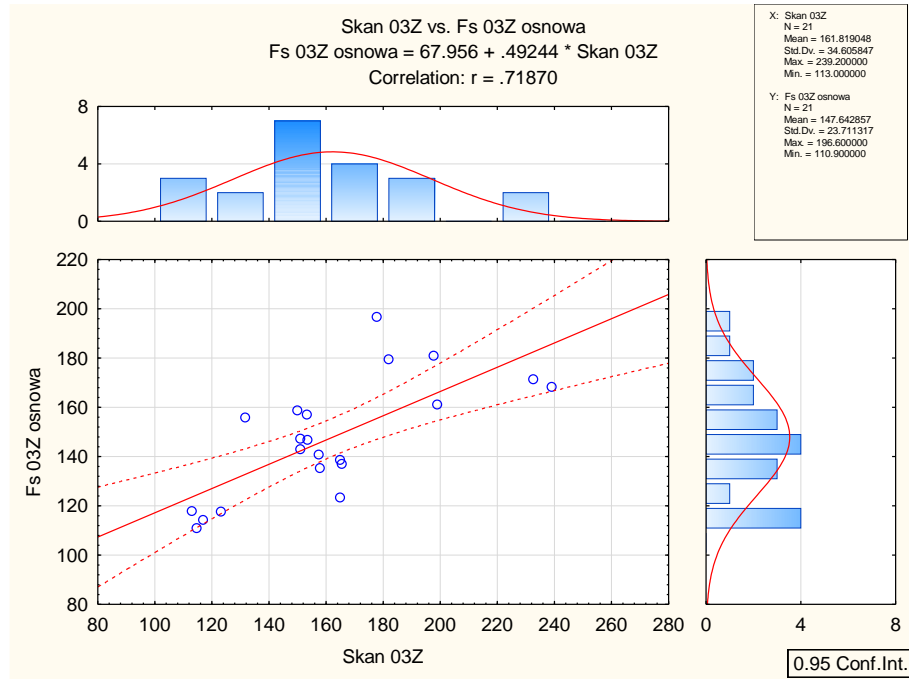
Rysunek Z 72. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem programu Blender dla tkaniny 03Z po skosie 45°



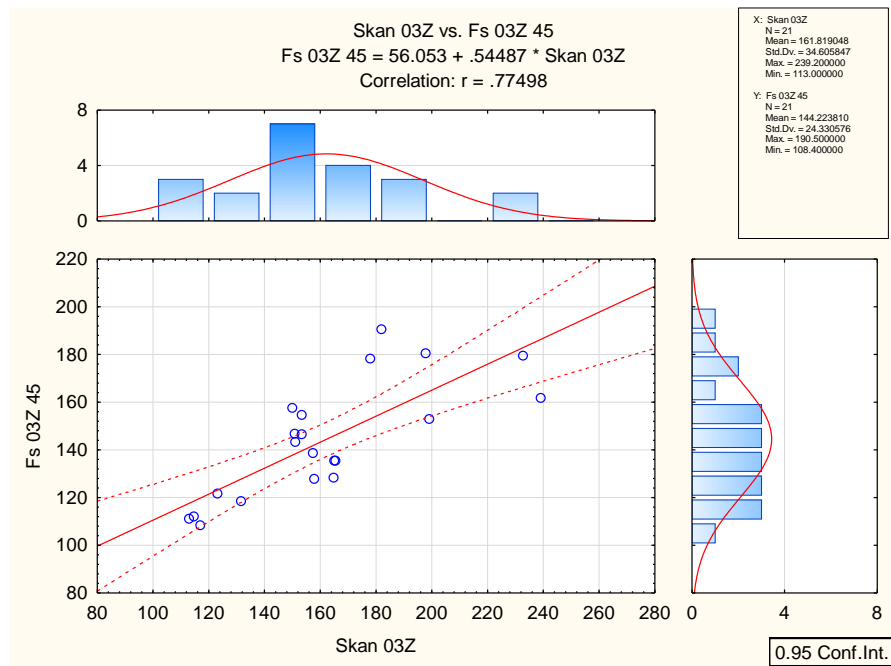
Rysunek Z 73. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 03Z osnowa



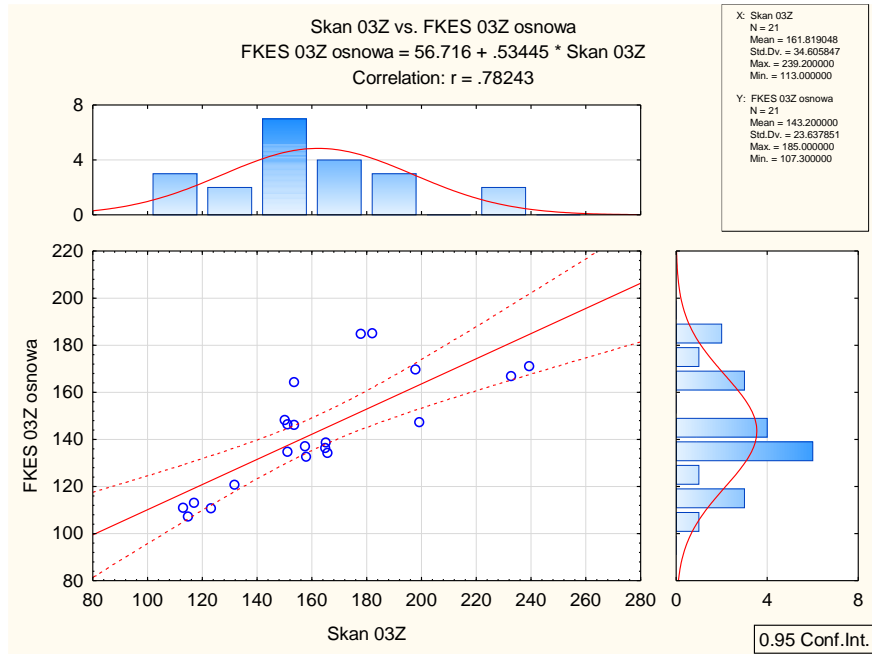
Rysunek Z 74. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB} dla tkaniny 03Z 45



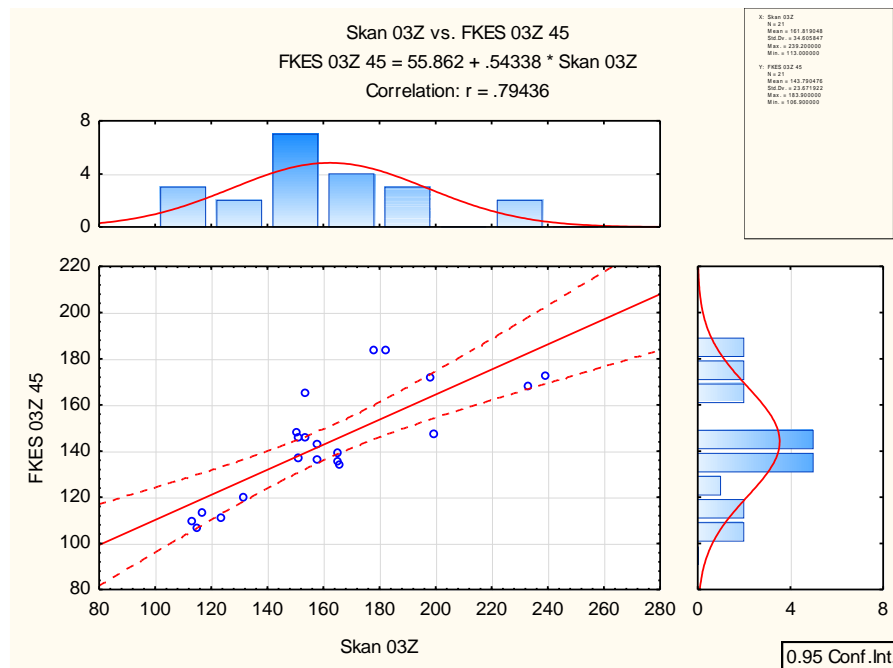
Rysunek Z 75. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 03Z osnowa



Rysunek Z 76. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 03Z 45



Rysunek Z 77. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES} dla tkaniny 03Z osnowa



Rysunek Z 78. Wykres korelacji pomiędzy skanem bluzki a symulacją bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s dla tkaniny 03Z 45

Załącznik nr 7

PORÓWNYWANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH
BLUZEK DLA TKANINY 02P

Tabela Z 1. Zestawienie przekroju poprzecznego klatki piersiowej dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 02P

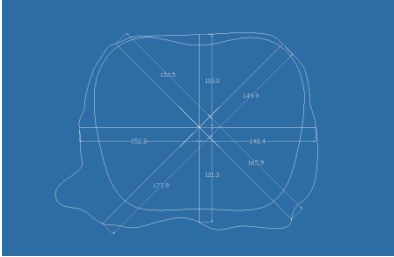
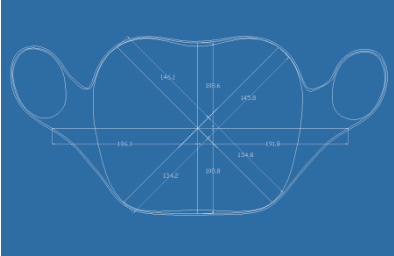
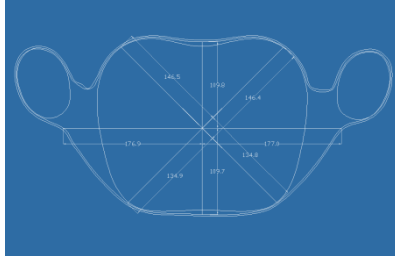
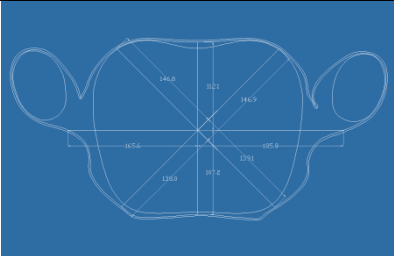
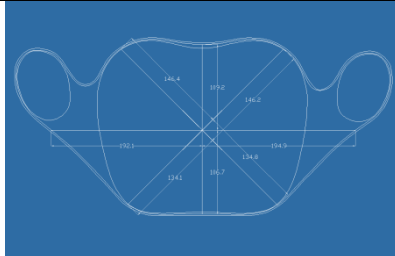
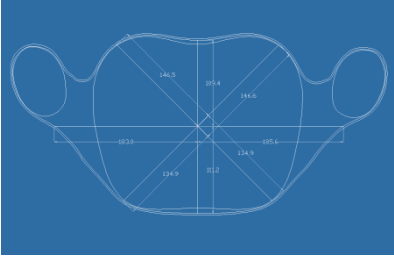
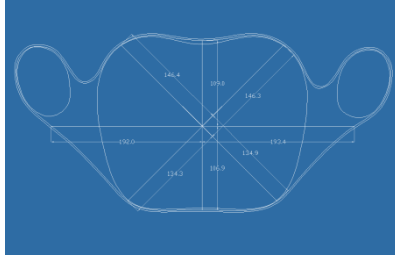
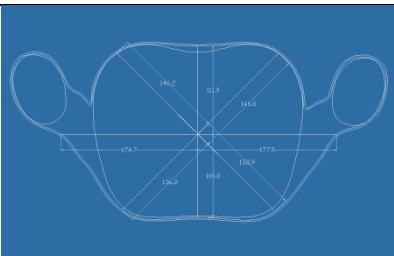
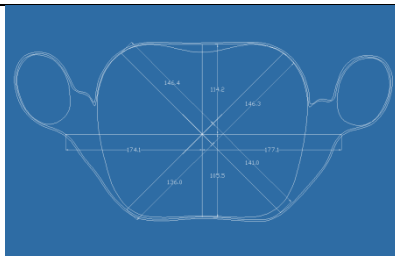
PPKP skanu bluzki 02P - wzorzec	
	
PPKP symulacji bluzki 02P w Blenderze osnowa	PPKP symulacji bluzki 02P w Blenderze 45°
	
PPKP symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{MB} osnowa	PPKP symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{MB} 45°
	
PPKP symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_s osnowa	PPKP symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_s 45°
	
PPKP symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{KES} osnowa	PPKP symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{KES} 45°
	

Tabela Z 2. Zestawienie przekroju poprzecznego talii dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 02P

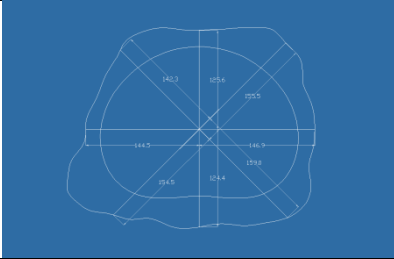
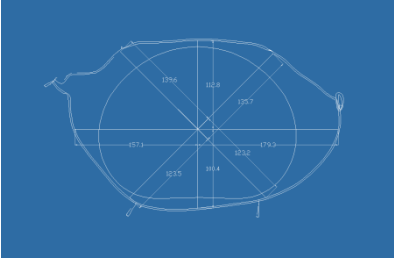
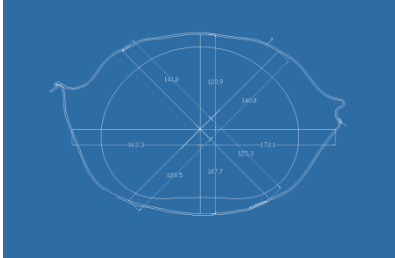
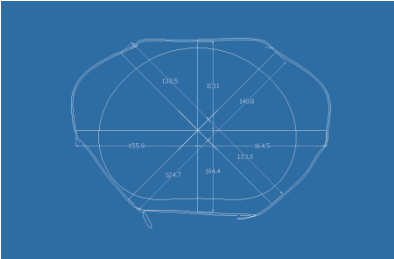
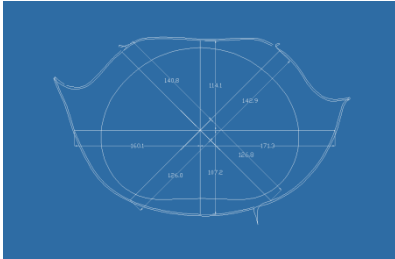
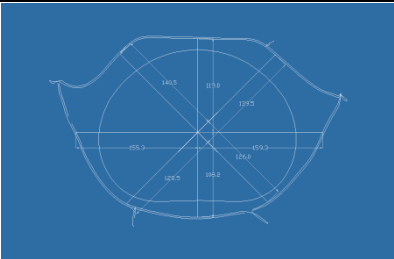
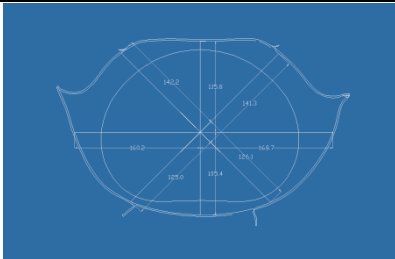
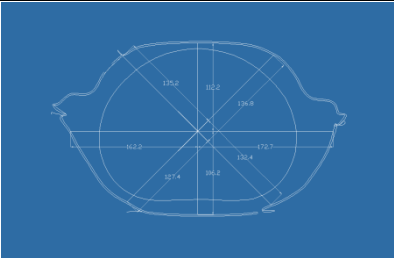
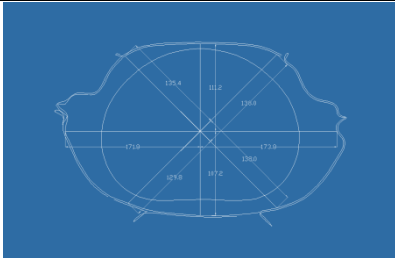
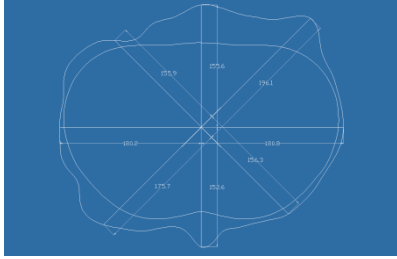
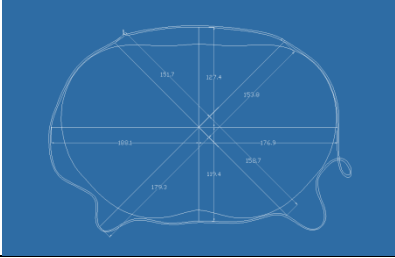
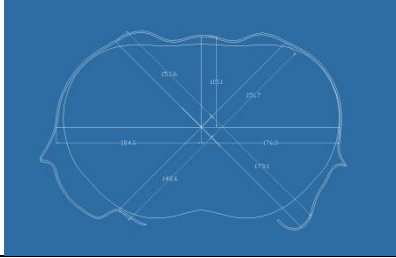
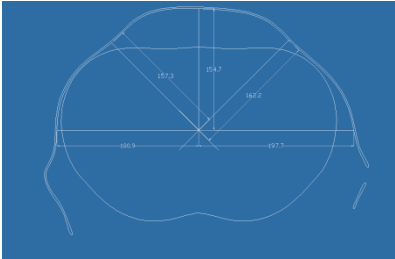
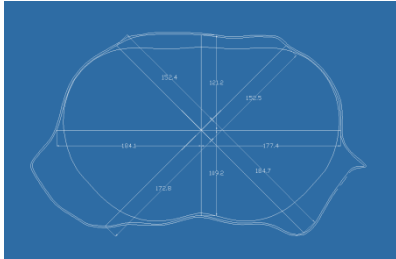
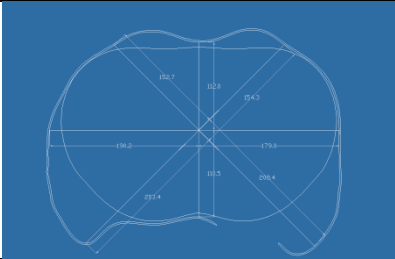
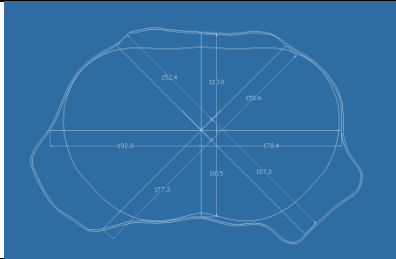
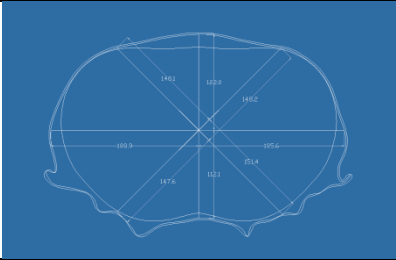
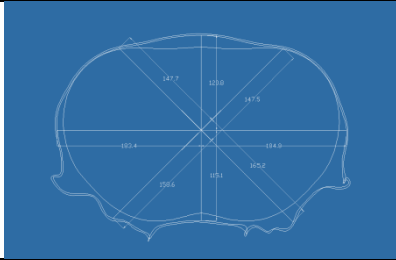
PPT skanu bluzki 02P - wzorzec	
	
PPT symulacji bluzki 02P w Blenderze osnowa	PPT symulacji bluzki 02P w Blenderze 45°
	
PPT symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{MB} osnowa	PPT symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{MB} 45°
	
PPT symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_s osnowa	PPT symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_s 45°
	
PPT symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{KES} osnowa	PPT symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{KES} 45°
	

Tabela Z 3. Zestawienie przekroju poprzecznego bioder dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 02P

PPB skanu bluzki 02P - wzorec	
	
PPB symulacji bluzki 02P w Blenderze osnowa	PPB symulacji bluzki 02P w Blenderze 45°
	
PPB symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{MB} osnowa	PPB symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{MB} 45°
	
PPB symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_s osnowa	PPB symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_s 45°
	
PPB symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{KES} osnowa	PPB symulacji bluzki 02P w Blenderze z F_{KES} 45°
	

Załącznik nr 8

PORÓWNYWANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH DLA TKANINY 03Z

Tabela Z 4. Zestawienie przekroju poprzecznego klatki piersiowej dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 03Z

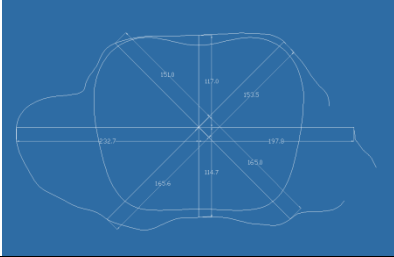
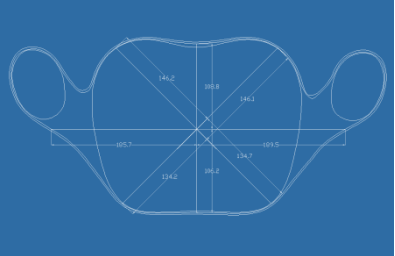
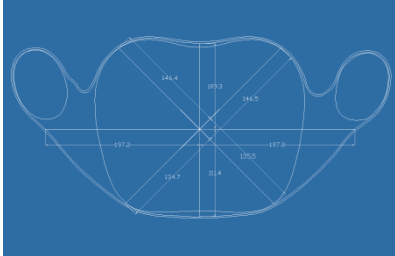
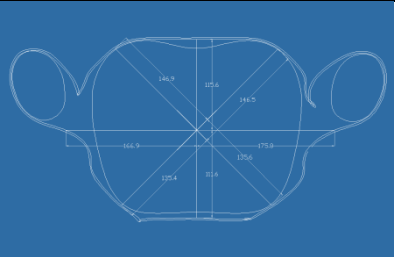
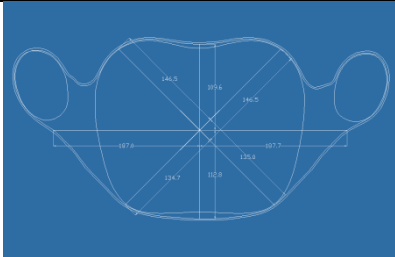
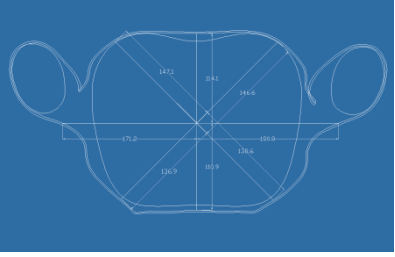
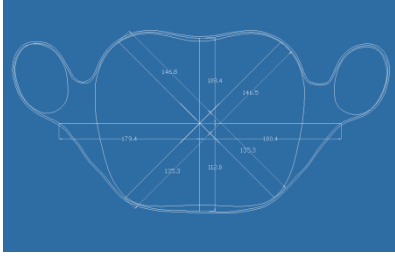
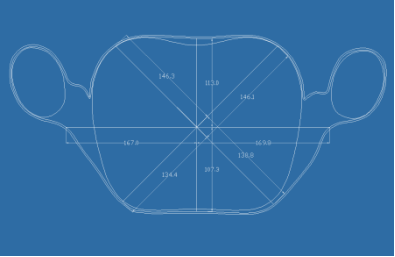
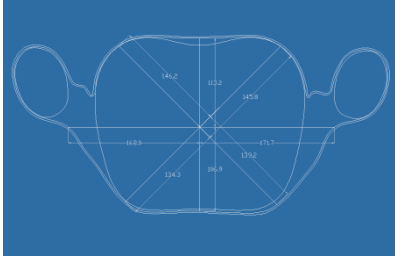
PPKP skanu bluzki 03Z - wzorzec	
	
PPKP symulacji bluzki 03Z w Blenderze osnowa	PPKP symulacji bluzki 03Z w Blenderze 45°
	
PPKP symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{MB} osnowa	PPKP symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{MB} 45°
	
PPKP symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_S osnowa	PPKP symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_S 45°
	
PPKP symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{KES} osnowa	PPKP symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{KES} 45°
	

Tabela Z 5. Zestawienie przekroju poprzecznego talii dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 03Z

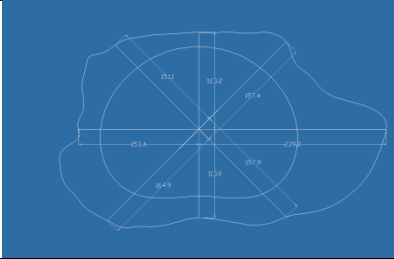
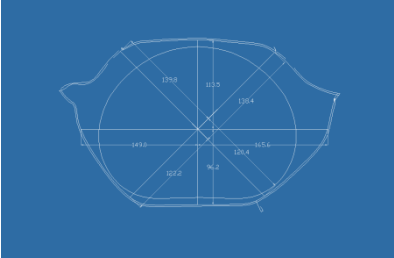
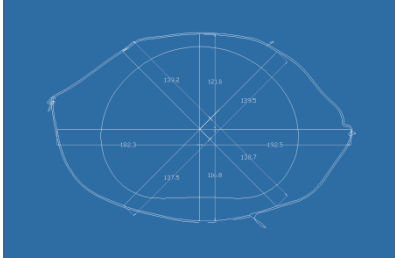
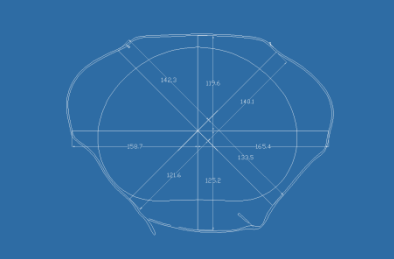
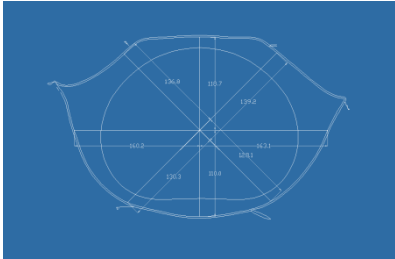
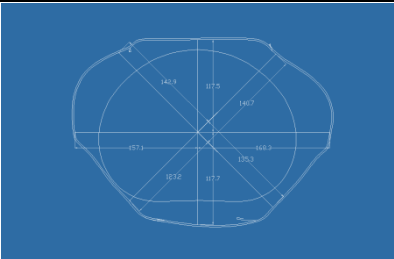
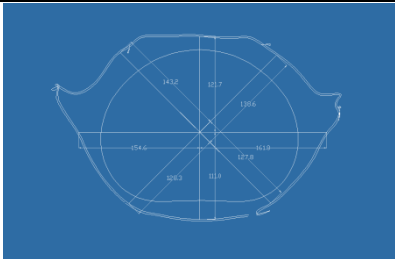
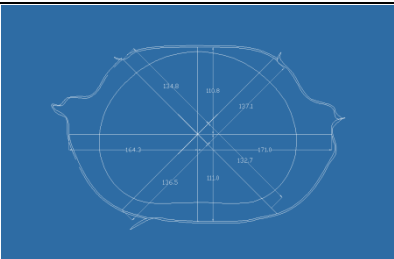
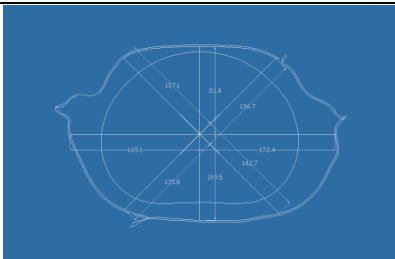
PPT skanu bluzki 03Z - wzorec	
	
PPT symulacji bluzki 03Z w Blenderze osnowa	PPT symulacji bluzki 03Z w Blenderze 45°
	
PPT symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{MB} osnowa	PPT symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{MB} 45°
	
PPT symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_s osnowa	PPT symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_s 45°
	
PPT symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{KES} osnowa	PPT symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{KES} 45°
	

Tabela Z 6. Zestawienie przekroju poprzecznego bioder dla skanu, programu Blender i wprowadzonych współczynników podatności na formowanie dla tkaniny 03Z

PPB skanu bluzki 03Z - wzorzec	
PPB symulacji bluzki 03Z w Blenderze osnowa	PPB symulacji bluzki 03Z w Blenderze 45°
PPB symulacji bluzki 3Z w Blenderze z F_{MB} osnowa	PPB symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{MB} 45°
PPB symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_S osnowa	PPB symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_S 45°
PPB symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{KES} osnowa	PPB symulacji bluzki 03Z w Blenderze z F_{KES} 45°

Załącznik nr 9

PORÓWNANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH BLUZKI DLA PROGRAMU BLENDER

Tabela Z 7. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 01B i symulacji bluzki z wykorzystaniem programu Blender

	Skan vs Blender 01B osnowa	Skan vs Blender 01B 45°
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>Diagram showing the chest cross-section. The scanned model (PPK Skan bluzki 01B) is shown in green, and the Blender model (PPK Blender 01B osnowa) is shown in blue. The diagram includes a grid with angles: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, and 315°. The scanned model shows a slightly larger and more rounded shape compared to the Blender model.</p>	<p>Diagram showing the chest cross-section. The scanned model (PPK Skan bluzki 01B) is shown in green, and the Blender model (PPK Blender 01B 45) is shown in blue. The diagram includes a grid with angles: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, and 315°. The scanned model shows a slightly larger and more rounded shape compared to the Blender model.</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>Diagram showing the waist cross-section. The scanned model (PPT Skan bluzki 01B) is shown in green, and the Blender model (PPT Blender 01B osnowa) is shown in blue. The diagram includes a grid with angles: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, and 315°. The scanned model shows a slightly larger and more rounded shape compared to the Blender model.</p>	<p>Diagram showing the waist cross-section. The scanned model (PPT Skan bluzki 01B) is shown in green, and the Blender model (PPT Blender 01B 45) is shown in blue. The diagram includes a grid with angles: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, and 315°. The scanned model shows a slightly larger and more rounded shape compared to the Blender model.</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>Diagram showing the hip cross-section. The scanned model (PPB Skan bluzki 01B) is shown in green, and the Blender model (PPB Blender 01B osnowa) is shown in blue. The diagram includes a grid with angles: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, and 315°. The scanned model shows a slightly larger and more rounded shape compared to the Blender model.</p>	<p>Diagram showing the hip cross-section. The scanned model (PPB Skan bluzki 01B) is shown in green, and the Blender model (PPB Blender 01B 45) is shown in blue. The diagram includes a grid with angles: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, and 315°. The scanned model shows a slightly larger and more rounded shape compared to the Blender model.</p>

Tabela Z 8. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 02P i symulacji bluzki z wykorzystaniem programu Blender

	Skan vs Blender 02P osnowa	Skan vs Blender 02P 45°
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>PPK Skan bluzki 02P PPK Blender 02P osnowa</p>	<p>PPK Skan bluzki 02P PPK Blender 02P 45</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>PPT Skan bluzki 02P PPT Blender 02P osnowa</p>	<p>PPT Skan bluzki 02P PPT Blender 02P 45</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>PPB Skan bluzki 02P PPB Blender 02P osnowa</p>	<p>PPB Skan bluzki 02P PPB Blender 02P 45</p>

Tabela Z 9. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 03Z i symulacji bluzki z wykorzystaniem programu Blender

	Skan vs Blender 03Z osnowa	Skan vs Blender 03Z 45°
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej		
Przekrój poprzeczny talii		
Przekrój poprzeczny bioder		

Załącznik nr 10

PORÓWNANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH BLUZKI
DLA SYMULACJI BLUZKI Z WYKORZYSTANIEM
WSPÓŁCZYNNIKA F_{MB}

Tabela Z 10. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 01B i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB}

	Skan vs F_{MB} 01B osnowa	Skan vs F_{MB} 01B 45
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>PPK Skan bluzki 01B PPK F_{MB} 01B osnowa</p>	<p>PPK Skan bluzki 01B PPK F_{MB} 01B 45</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>PPT Skan bluzki 01B PPT F_{MB} 01B osnowa</p>	<p>PPT Skan bluzki 01B PPT F_{MB} 01B 45</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>PPB Skan bluzki 01B PPB F_{MB} 01B osnowa</p>	<p>PPB Skan bluzki 01B PPB F_{MB} 01B 45</p>

Tabela Z 11. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny i 02P symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB}

	Skan vs F_{MB} 02P osnowa	Skan vs F_{MB} 02P 45
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>PPK Skan bluzki 02P PPK F_{MB} 02P osnowa</p>	<p>PPK Skan bluzki 02P PPK F_{MB} 02P 45</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>PPPT Skan bluzki 02P PPPT F_{MB} 02P osnowa</p>	<p>PPPT Skan bluzki 02P PPPT F_{MB} 02P 45</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>PPB Skan bluzki 02P PPB F_{MB} 02P 45</p>	<p>PPB Skan bluzki 02P PPB F_{MB} 02P 45</p>

Tabela Z 12. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 03Z i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{MB}

	Skan vs F_{MB} 03Z osnowa	Skan vs F_{MB} 03Z 45
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>PPK Skan bluzki 03Z PPK F_{MB} 03Z osnowa</p>	<p>PPK Skan bluzki 03Z PPK F_{MB} 03Z 45</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>PPT Skan bluzki 03Z PPT F_{MB} 03Z 45</p>	<p>PPT Skan bluzki 03Z PPT F_{MB} 03Z 45</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>PPB Skan bluzki 03Z PPB F_{MB} 03Z osnowa</p>	<p>PPB Skan bluzki 03Z PPB F_{MB} 03Z 45</p>

Załącznik nr 11

PORÓWNANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH BLUZKI
DLA SYMULACJI BLUZKI Z WYKORZYSTANIEM
WSPÓŁCZYNNIKA F_S

Tabela Z 13. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 01B i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s

	Skan vs F_s 01B osnowa	Skan vs F_s 01B 45
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>PPK Skan bluzki 01B PPK F_s 01B osnowa</p>	<p>PPK Skan bluzki 01B PPK F_s 01B 45</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>PPT Skan bluzki 01B PPT F_s 01B osnowa</p>	<p>PPT Skan bluzki 01B PPT F_s 01B 45</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>PPB Skan bluzki 01B PPB F_s 01B osnowa</p>	<p>PPB Skan bluzki 01B PPB F_s 01B 45</p>

Tabela Z 14. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 02P i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s

	Skan vs F_s 02P osnowa	Skan vs F_s 02P 45
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>Legend: □ PPK Skan bluzki 02P □ PPK F_s 02P osnowa</p>	<p>Legend: □ PPK Skan bluzki 02P □ PPK F_s 02P 45</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>Legend: □ PPT Skan bluzki 02P □ PPT F_s 02P osnowa</p>	<p>Legend: □ PPT Skan bluzki 02P □ PPT F_s 02P 45</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>Legend: □ PPB Skan bluzki 02P □ PPK F_s 02P osnowa</p>	<p>Legend: □ PPB Skan bluzki 02P □ PPK F_s 02P 45</p>

Tabela Z 15. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 03Z i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_s

	Skan vs F_s 03Z osnowa	Skan vs F_s 03Z 45
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>PPK Skan bluzki 03Z PPK F_s 03Z osnowa</p>	<p>PPK Skan bluzki 03Z PPK F_s 03Z 45</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>PPT Skan bluzki 03Z PPT F_s 03Z osnowa</p>	<p>PPT Skan bluzki 03Z PPT F_s 03Z 45</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>PPB Skan bluzki 03Z PPB F_s 03Z osnowa</p>	<p>PPB Skan bluzki 03Z PPB F_s 03Z 45</p>

Załącznik nr 12

PORÓWNANIE PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH BLUZKI
DLA SYMULACJI BLUZKI Z WYKORZYSTANIEM
WSPÓŁCZYNNIKA F_{KES}

Tabela Z 16. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 01B i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES}

	Skan vs F_{KES} 01B osnowa	Skan vs F_{KES} 01B 45
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>PPK Skan bluzki 01B PPK F_{KES} 01B osnowa</p>	<p>PPK Skan bluzki 01B PPK F_{KES} 01B 45</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>PPT Skan bluzki 01B PPT F_{KES} 01B osnowa</p>	<p>PPT Skan bluzki 01B PPT F_{KES} 01B 45</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>PPB Skan bluzki 01B PPB F_{KES} 01B osnowa</p>	<p>PPB Skan bluzki 01B PPB F_{KES} 01B 45</p>

Tabela Z 17. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 02P i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES}

	Skan vs F_{KES} 02P osnowa	Skan vs F_{KES} 02P 45
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>PPK Skan bluzki 02P PPK F_{KES} 02P osnowa</p>	<p>PPK Skan bluzki 02P PPK F_{KES} 02P 45</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>PPT Skan bluzki 02P PPT F_{KES} 02P osnowa</p>	<p>PPT Skan bluzki 02P PPT F_{KES} 02P 45</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>PPB Skan bluzki 02P PPB F_{KES} 02P osnowa</p>	<p>PPB Skan bluzki 02P PPB F_{KES} 02P 45</p>

Tabela Z 18. Zestawienie przekrojów poprzecznych bluzki zeskanowanej uszytej z tkaniny 03Z i symulacji bluzki z wykorzystaniem współczynnika podatności na formowanie F_{KES}

	Skan vs F_{KES} 03Z osnowa	Skan vs F_{KES} 03Z 45
Przekrój poprzeczny klatki piersiowej	<p>PPK Skan bluzki 03Z PPK F_{KES} 03Z osnowa</p>	<p>PPK Skan bluzki 03Z PPK F_{KES} 03Z 45</p>
Przekrój poprzeczny talii	<p>PPT Skan bluzki 03Z PPT F_{KES} 03Z osnowa</p>	<p>PPT Skan bluzki 03Z PPT F_{KES} 03Z 45</p>
Przekrój poprzeczny bioder	<p>PPB Skan bluzki 03Z PPB F_{KES} 03Z osnowa</p>	<p>PPB Skan bluzki 03Z PPB F_{KES} 03Z 45</p>

Streszczenie rozprawy doktorskiej

pt.

„Rozważania na temat wskaźnika określającego jakość dopasowania odzieży do sylwetki użytkownika za pomocą skanera 3D oraz systemu CAD”

Autor: mgr inż. Monika Bałach-Kinsella

Promotor: prof. dr hab. inż. Iwona Frydrych

Promotor pomocniczy: dr. inż. Agnieszka Cichocka

Celem rozprawy doktorskiej było badanie jakości dopasowania odzieży do sylwetki użytkownika w systemie CAD, poprzez wprowadzenie trzech wariantów współczynnika podatności na formowanie, czyli stworzenie trzech nowych modeli matematycznych w programie Blender. W rozprawie doktorskiej wykorzystano program Blender ze względu na otwartą licencję, która umożliwia wprowadzenie współczynników podatności na formowanie używając języka C++ i Python. Algorytmy współczynników podatności na formowanie testowano na trzech materiałach przeznaczonych na bluzkę, różniących się składem surowcowym, splotem i masą powierzchniową.

Kolejnym zadaniem rozprawy doktorskiej było zautomatyzowanie programów 3D poprzez wprowadzenie automatycznego szycia odzieży w środowisku wirtualnym z zastosowaniem plików DXF. Na podstawie założeń teoretycznych i przeglądu literatury stwierdzono, że wprowadzenie nowych współczynników podatności na formowanie poprawi jakość dopasowania tkaniny do sylwetki ludzkiej w przestrzeni 3D.

Głównym powodem wyboru problematyki badawczej było ułatwienie użytkownikom posługiwania się programami 3D oraz uzyskanie lepszej jakości odwzorowania układalności tkaniny w przestrzeni 3D w porównaniu do układalności tkaniny w rzeczywistości.

Automatyzacja procesu zszywania odzieży w 3D pozwoli w przyszłości na szybką przymiarke odzieży w 3D. Obecnie użytkownicy systemów CAD/CAM, są to osoby, które muszą w wysokim stopniu znać obsługę programów 3D i być specjalnie szkolone.

Badanie to pozwoliło na stwierdzenie, iż podatność na formowanie wpływa znacząco na układalność tkaniny w 3D, zbadano proste i bardziej złożony modele matematyczne dla podatności na formowanie, które udowodniły, że są silnie zależne od surowca tkaniny i jej splotu. Wprowadzenie pojęcia podatności na formowanie do programów symulacyjnych stwarza możliwości dalszego rozwoju programów 3D do symulacji układalności tkanin na sylwetce ludzkiej.

Summary of the doctoral dissertation

pt.

“Considerations on the indicator determining the quality of clothing fit to the user's figure using a 3D scanner and CAD system”

Author: Monika Bałach-Kinsella, M. Sc

Promotor: Iwona Frydrych, Ph. D., D.Sc.

Auxiliary promoter: Agnieszka Cichočka, Ph.D.

The aim of the doctoral dissertation was to study, how various factors can affect the quality clothing of fit in the CAD system. Three equations on the formability coefficient were considered and three new mathematical models were derived and tested using a software package called Blender. The Blender program was chosen due to its open license which allowed for the introduction of formability coefficients using both C++ and Python languages. The algorithms, which incorporated the formability coefficients, were tested on three materials designed for blouse, differing in material composition, weave and surface weight.

The doctoral dissertation also focused on enhancing the automation of 3D programs by introducing the concept of automatic garment stitching in the virtual environment using only DXF files. Based on theoretical assumptions and literary review, it was discovered that the introduction of the new formability coefficients resulted in an improved quality of fit of the fabric to the human figure in 3D space.

The main reason for choosing this topic was to introduce concepts that could improve the functionality and further the scope of 3D CAD packages, such as improved virtual cloth draping in 3D space to simulate real world draping more accurately. The automation of the 3D sewing process will allow for rapid 3D virtual fitting of clothes in the future. Currently, users of CAD/CAM systems are specially trained people, who are also highly familiar with the use of 3D CAD software. By improving the realism of cloth simulation and by expanding existing functionality, it is possible to make 3D software packages easier and more intuitive for end users to use.

The concept of incorporating formability into current simulation algorithms creates an exciting opportunity for further research and development of 3D programs to improve the simulation of cloth draping to reflect real world draping more accurately, and in turn, to improve the overall accuracy and reliability of virtual garment fitting in general.