

Dr inż. Grzegorz Bartnik

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Automatyki,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Doświadczalna 50 A, 20-280 Lublin,

Dr inż. Daniel Pieniak

Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie
Zakład Mechaniki Stosowanej
ul. Słowackiego 52 /54, 01-629 Warszawa

Dr hab. n. med. Agata M. Niewczas

Katedra i Zakład Stomatologii Zachowawczej,
Uniwersytet Medyczny w Lublinie,
ul. Karmelicka 7, 20-081 Lublin,

Dr hab. inż. Andrzej Marciniak

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji
Wydział Transportu i Informatyki
ul. Projektowa 4, 20-209 Lublin,

**Probabilistyczny model wytrzymałości na zginanie
kompozytów stomatologicznych w zastosowaniu do modelowania
niezawodności układów „zęb – kompozyt stomatologiczny”**

Słowa kluczowe: modelowanie probabilistyczne, niezawodność układów zęb-kompozyt stomatologiczny, kompozyty stomatologiczne, wytrzymałość na zginanie,

Streszczenie: W pracy przedstawiono zastosowanie bayesowskiego modelowania probabilistycznego jako sposobu standaryzacji opracowania wyników pomiarów, uzupełniającego standaryzację operatorowo – proceduralną wyznaczania wytrzymałości kompozytów stomatologicznych. Tradycyjny sposób prowadzenia badań wytrzymałościowych, wykonywanych usługowo i obliczeniowo nienawiązujących do badań poprzednich, zmieniono w adaptacyjny proces kumulacji wiedzy w postaci coraz dokładniejszych modeli. Probabilistyczne modele wytrzymałości na zginanie wykorzystano do utworzenia rankingu niezawodnościowego badanych kompozytów stomatologicznych. Konceptualizacja niezawodności układów biotechnologicznych takich jak „zęb – wypełnienie stomatologiczne” wymagała rozszerzenia zakresu pojęcia *uszkodzenie* o losowe zdarzenia polegające na zaistnieniu niezgodności pomiędzy komponentami układu biotechnologicznego (*compatibility failure*).

1. Wstęp

Pozyskiwanie informacji i wiedzy wbudowane w procesy produkcyjne jest podstawowym paradygmatem systemów produkcji opartych na wiedzy i informacji. Oznacza to, że wiedza i informacja są jednym z najważniejszych produktów, głównych lub ubocznych każdego procesu produkcji. Ta wiedza pozostaje w procesie jako nieużywalny zasób produkcyjny [3].

Wytrzymałość na zginanie jest jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących kompozyty stomatologiczne. Wytrzymałość na zginanie badana jest poprzez wykonanie testu 3-punktowego zginania (TFS), który jest uznany przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną jako obowiązujący w badaniach wytrzymałości stomatologicznych kompozytów polimerowych i opisany w normie PN-EN ISO 4049:2010E–„Stomatologia - Materiały polimerowe do odbudowy” wprowadzającej w Polsce normę EN ISO 4049-2009 „Dentistry - Polymer-based restorative materials”[14].

Wytrzymałość na zginanie jest wielkością złożoną, wrażliwą na nieznaczne nawet niejednorodności struktury i składu chemicznego a także kształtu badanych próbek zarówno w skali mikro jak i makro. Efektem tego jest rozrzut wyników pomiaru próbek wykonanych z tego samego materiału. Inaczej mówiąc, wynik pomiaru obciążony jest niepewnością co do wartości wytrzymałości na zginanie. Jako miarę niepewności przyjmuje się prawdopodobieństwo. Oznacza to, że po wykonaniu serii pomiarów wytrzymałość badanego materiału na zginanie znana jest z dokładnością do rozkładu prawdopodobieństwa. W literaturze [10, 15] przyjmuje się, że rozkład ten jest rozkładem Weibull'a, którego dystrybuanta ma postać przedstawioną we wzorze 1:

$$F(\sigma|m, \sigma_0, \sigma_u) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0}\right)^m\right] \quad (1)$$

gdzie:

σ – naprężenie niszczące,

σ_0 – parametr skali rozkładu Weibull'a,

m – parametr kształtu,

σ_u – parametr położenia (w rozpatrywanym przypadku $\sigma_u=0$)

$F(\sigma|m, \sigma_0, \sigma_u)$ – prawdopodobieństwo zniszczenia próbki przy naprężeniu zginającym σ , dla $\sigma \geq \sigma_u$.

Zastosowaniem rozkładu Weibull'a jako modelu wytrzymałości na zginanie materiałów stomatologicznych zajmowano się w pracy [10]. Do oszacowania parametrów rozkładu Weibull'a zastosowano tam metodę siatek podwójnie logarytmicznych [10]. Jest to metoda oparta na klasycznej statystyce matematycznej, w której parametry rozkładu prawdopodobieństwa traktowane są jako wielkości stałe dla ustalonych warunków eksperymentu, chociaż nieznane. Natomiast wynik pomiaru jest zmienną losową o wartościach generowanych przez rozkład prawdopodobieństwa o konkretnych, chociaż nieznanach parametrach. Z inżynierskiego punktu widzenia to właśnie wynik pomiaru jest stwierdzonym faktem a zatem niepewność tkwi w parametrach rozkładu a nie w wynikach pomiaru. Jeżeli potraktujemy parametry rozkładu jako zmienne losowe to mamy do czynienia z statystyką bayesowską [5, 6]. Takie podejście jest sensowne w pomiarach wytrzymałości w inżynierii materiałowej, czego przykładem może być opracowanie Bayesian Inference for NASA Probabilistic Risk and Reliability Analysis NASA/SP-2009-569, June 2009[2].

Celem artykułu jest między innymi pokazanie zastosowania bayesowskiego modelowania probabilistycznego jako propozycji metody wyznaczania i porównywania charakterystyk wytrzymałościowych materiałów stomatologicznych. Autorzy uważają, że aby zwiększyć przewidywalność i porównywalność badań wytrzymałościowych należy znormalizować nie tylko metodę i aparaturę pomiarową, ale również metodę opracowywania wyników pomiarów i ich formalnej interpretacji. Zastosowanie statystyki bayesowskiej ma tutaj wyraźną przewagę nad statystyką klasyczną dlatego, że w sposób zgodny z intuicją inżynierską możliwe jest łączenie jakościowej wiedzy przedmiotowej z wynikami pomiaru.

Kolejnym celem artykułu jest zasygnalizowanie problemu niezawodności układów biotechnologicznych. Konceptualizacja niezawodności układów biotechnologicznych takich jak „zęb – wypełnienie stomatologiczne” wymaga wprowadzenia nowej subkategorii pojęcia uszkodzenie¹ (*failure*) a mianowicie *compability failure* (niezgodność). Zdarzenie polegające na zaistnieniu niezgodności pomiędzy obiektem biologicznym a komponentem stomatologicznym traktujemy jako nową kategorię zdarzeń losowych typu uszkodzenie i do nich m.in. odnosimy pojęcie niezawodności układów biotechnologicznych. Zgodnie z normą PN-EN ISO 4049:2010 należy uwzględnić trzy rodzaje niekompatybilności: biologiczną,

¹Pojęcie uszkodzenia nie jest semantycznie równoważne z pojęciem *failure* używanym w teorii niezawodności

estetyczną i trwałościową. Każda z tych kategorii ma jeszcze szczegółowe subkategorie, specyfikowane w odrębnych normach. W wyżej cytowanej normie występują subkategorie kompatybilności wytrzymałościowej i antyradacyjnej.

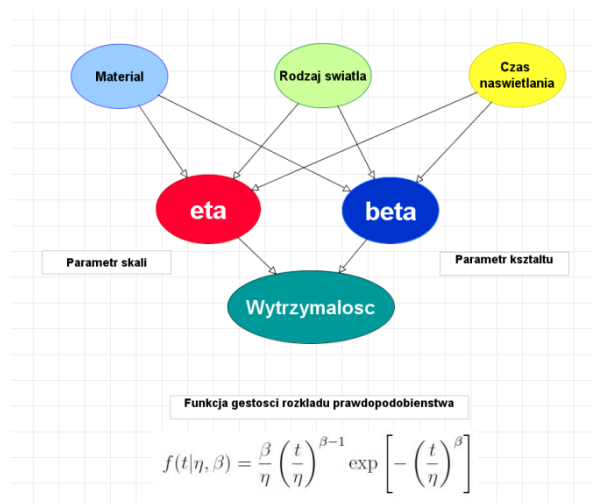
2. Bayesowski, probabilistyczny model wytrzymałości na zginanie materiałów stomatologicznych

Bayesowskie modele probabilistyczne (sieci bayesowskie) mają reprezentację grafową [8, 11, 12]. Węzły grafu reprezentują wielkości opisujące modelowaną dziedzinę przedmiotową. Każda z tych wielkości ma określony zbiór wartości oraz miarę niepewności dotyczącą wartości tych wielkości, zadaną w postaci apriorycznego rozkładu prawdopodobieństwa nad zbiorem jej wartości. Węzły grafu połączone są łukami reprezentującymi związki przyczynowo – skutkowe.

Rozkłady prawdopodobieństwa związane z węzłami potomnymi innych węzłów są apriorycznymi rozkładami warunkowymi. Model bayesowski należy tak konstruować, aby reprezentujący go graf nie zawierał cykli. Wykorzystując zasadę warunkowej niezależności uzyskuje się kompletną charakterystykę probabilistyczną w postaci sfaktoryzowanego, łącznego rozkładu prawdopodobieństwa [4].

Modele probabilistyczne mogą być generatywne albo dyskryminatywne. Istotą statystyki bayesowskiej jest tworzenie modeli generatywnych. Zadane jest pytanie o łączny rozkład prawdopodobieństwa zmiennych losowych pod warunkiem zaobserwowania konkretnych ich realizacji z uwzględnieniem znajomości relacji przyczynowo – skutkowych pomiędzy tymi zmiennymi. Hipotezy dotyczą parametrów rozkładu, o których zakłada się, że są znane z dokładnością do apriorycznego rozkładu prawdopodobieństwa. Każdorazowy napływ nowych danych (realizacji obserwowanych zmiennych losowych) powoduje aktualizację warunkowych rozkładów prawdopodobieństwa wszystkich zmiennych w modelu, w tym parametrów rozkładu. Otrzymuje się wówczas rozkłady aposterioryczne poszczególnych zmiennych losowych oraz aposterioryczny łączny rozkład prawdopodobieństwa [5, 6, 7, 8, 9].

Przyjmując, że modelem probabilistycznym wytrzymałości na zginanie kompozytów stomatologicznych jest rozkład Weibull'a – model ten w postaci sieci bayesowskiej przedstawiono na rys. 1. Graf ten ma tyle węzłów, ile wielkości występuje we wzorze (przy budowaniu sieci parametr skali oznaczono η „eta” a parametr kształtu β „beta”) oraz węzły reprezentujące czynniki eksperymentu. W tym przypadku są to: rodzaj materiału, rodzaj światła używanego w procesie utwardzania i czas naświetlania.

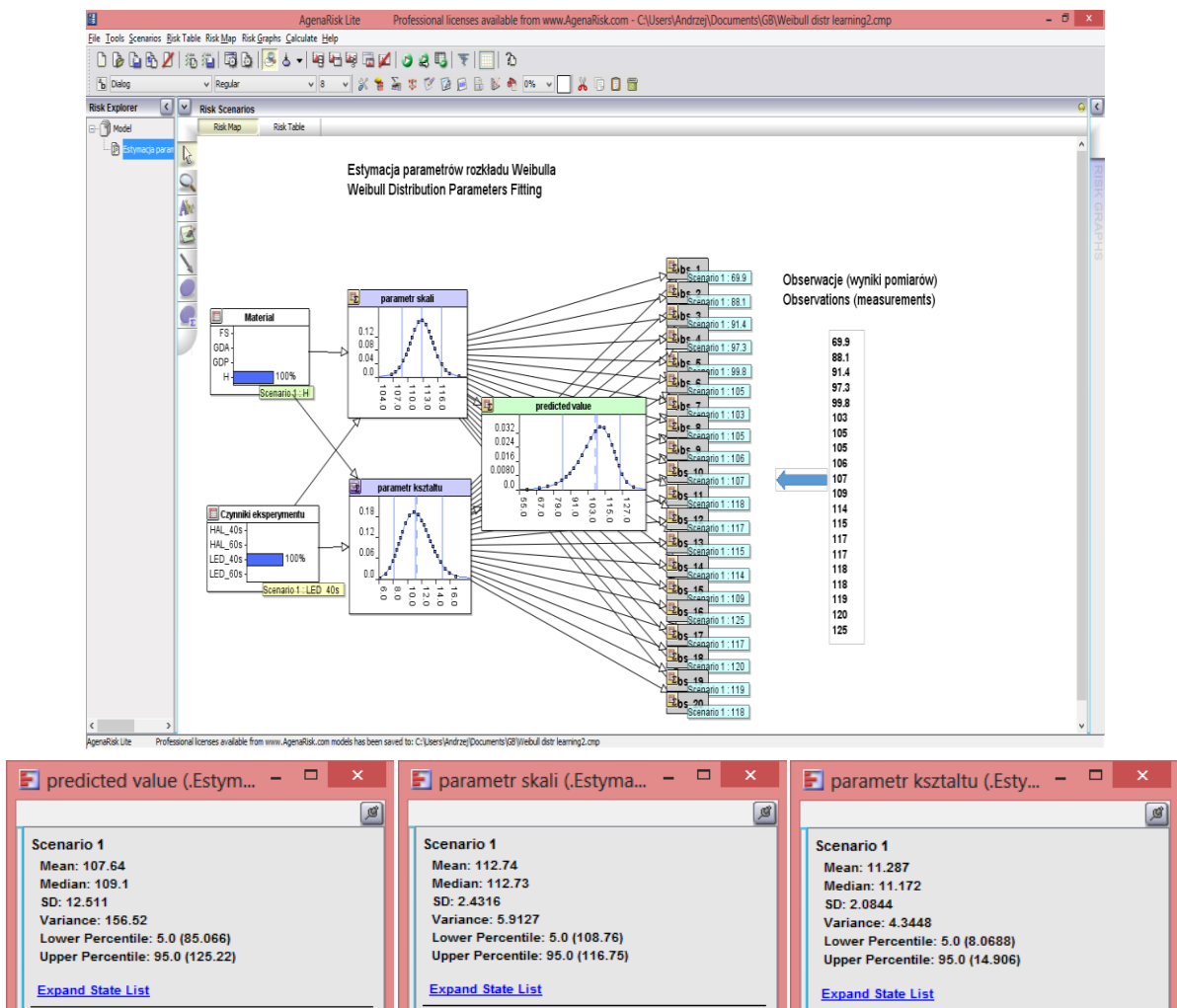


Rys. 1. Probabilistyczny model wytrzymałości materiałów stomatologicznych.

3. „Uczenie modeli” na przykładach, którymi są rzeczywiste wyniki pomiarów

Wykorzystane zostały wyniki pomiarów przeprowadzonych i opublikowanych w artykule [11]. Dane dotyczą kompozytów stomatologicznych bazujących na siloranach oraz na związkach metakrylanowych. Były to: FiltekSiloran (FSi), Gradia Direct Anterior (GDA), Gradia Direct Posterior (GDP), Herculite XRV (H). Zastosowano fotopolimeryzację dwoma rodzajami światła: lampą diodową oraz lampą halogenową. Przyjęto czas naświetlania 40 sek. oraz 60 sek. Do badań wytrzymałości zastosowano test na zginanie trójpunktowe (TFS) zgodnie z wymaganiami normy ISO 4049. Badane próbki w ilości N=20 z każdego materiału miały formę belek prostokątnych [1, 4, 10, 13]. Modelowanie probabilistyczne przeprowadzono za pomocą programu AgenaRisk².

Celem uczenia sieci probabilistycznej jest estymacja parametrów β i η dla różnych materiałów i różnych warunków eksperymentu. Uczenie sieci polega na wstecznej propagacji wyników pomiarów wytrzymałości na zginanie (Rys. 2). W początkowej fazie uczenia wartości parametrów β i η są nieokreślone, stąd aprioryczny rozkład prawdopodobieństw nad wartościami tych parametrów przyjęto jako jednostajny w przedziale od 0 do 200 dla parametru η i od 1 do 20 dla parametru β . Wyniki uczenia sieci przedstawiono na rys. 3 i 4.



Rys. 2. Uczenie sieci na podstawie wyników pomiarów.

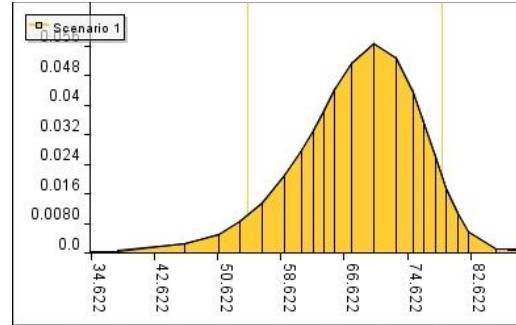
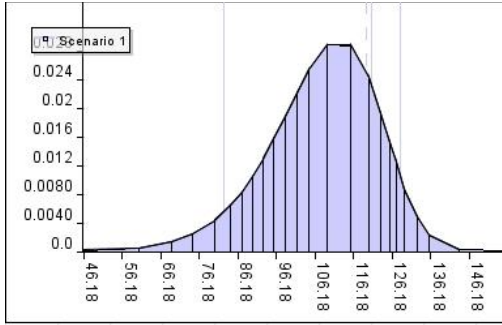
²Użyto programu AgenaRisk <http://www.agenarisk.com>

Material

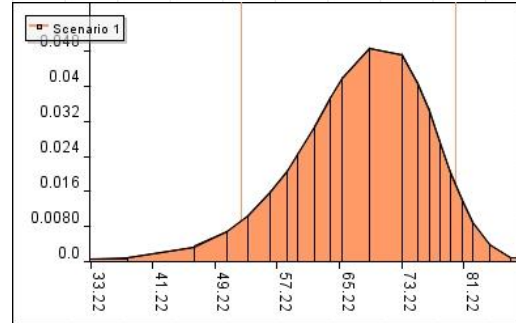
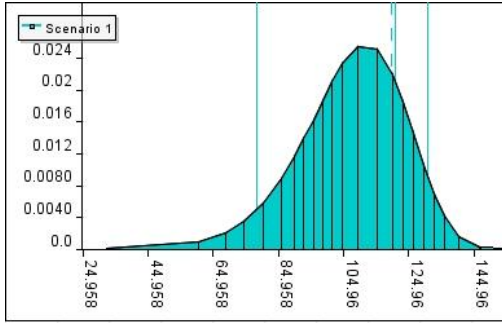
FiltrekSiloran (FSi)

Gradia Direct Anterior (GDA)

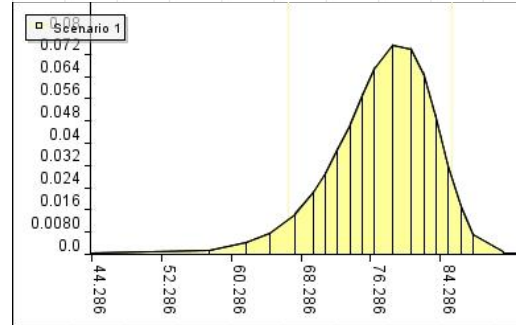
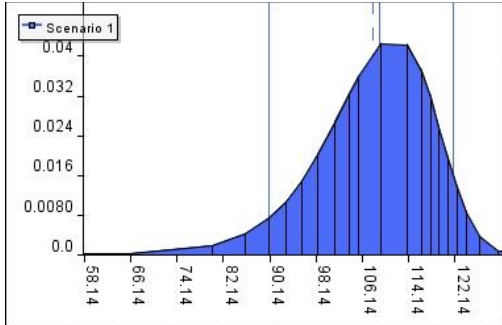
lampa diodowa,
czas naświetlania 40 sekund



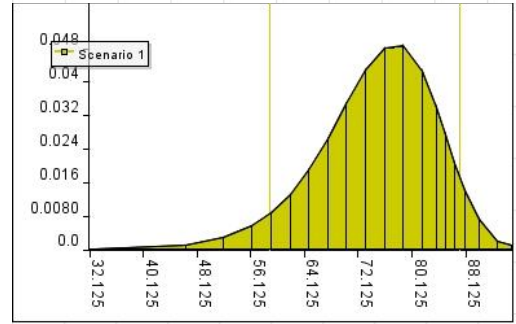
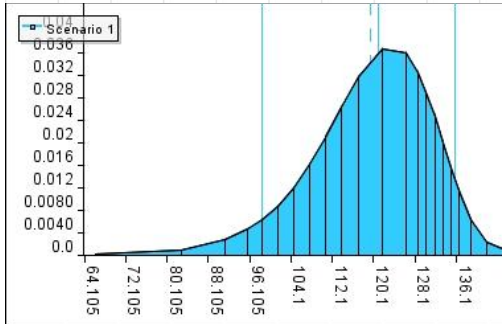
lampa diodowa,
czas naświetlania 60 sekund



lampa halogenowa
czas naświetlania 40 sekund



lampa halogenowa
czas naświetlania 60 sekund

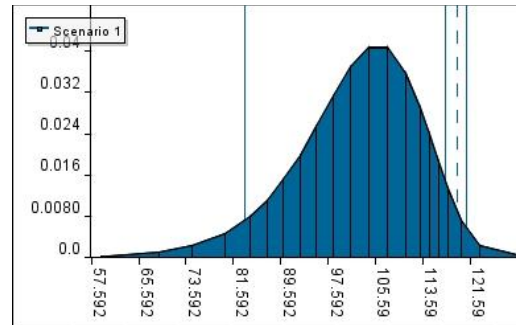
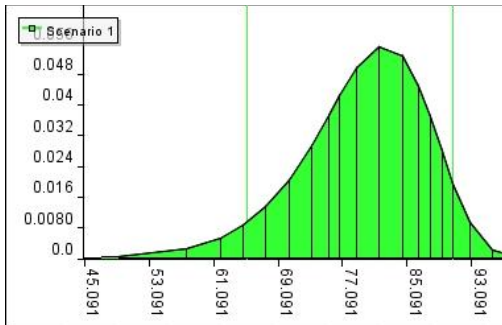


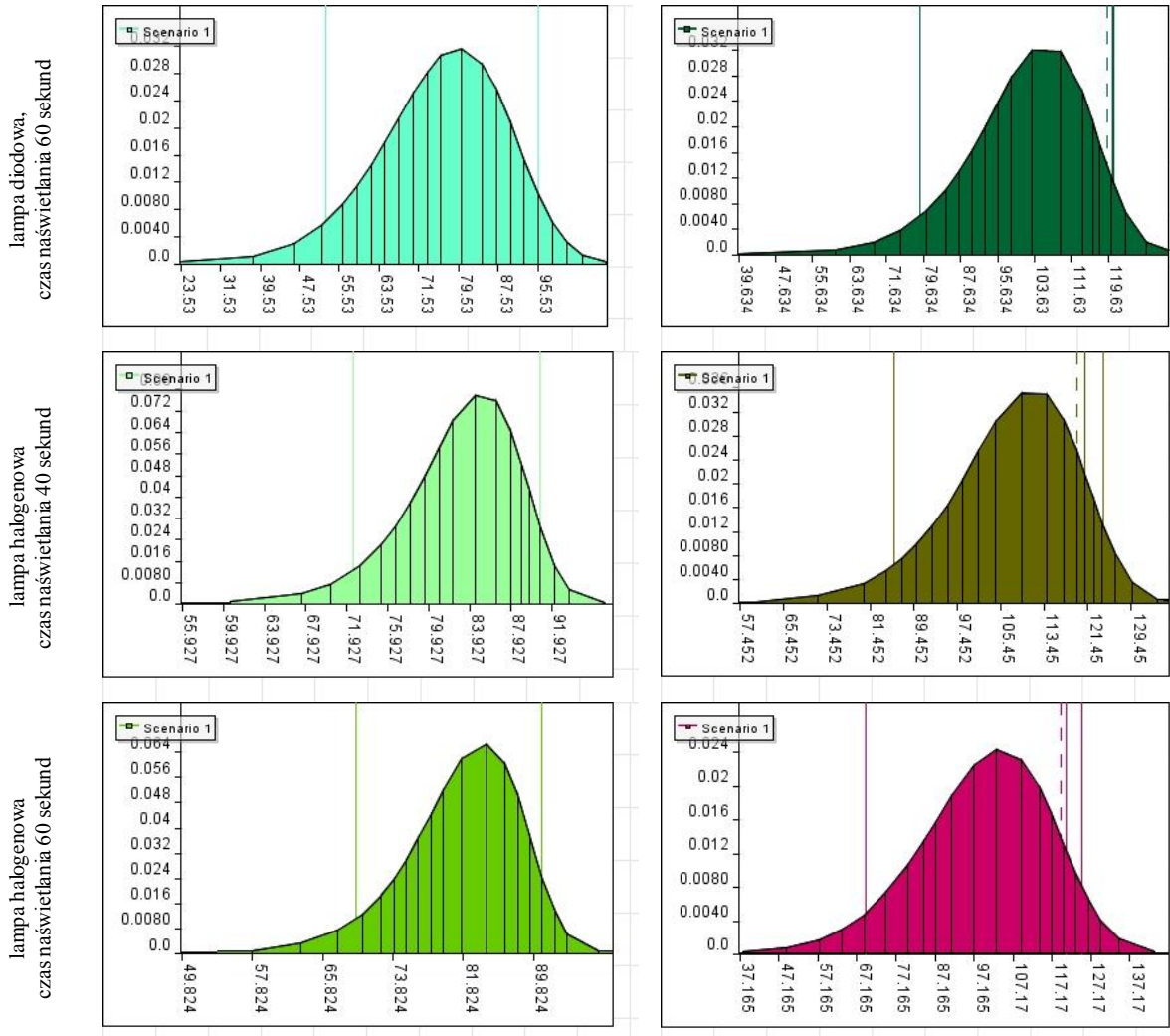
Material

Gradia Direct Posterior (GDP)

Herculite XRV (H)

lampa diodowa,
czas naświetlania 40 sekund





Rysunek 3. Warunkowe rozkłady prawdopodobieństwa wytrzymałości na zginanie σ .

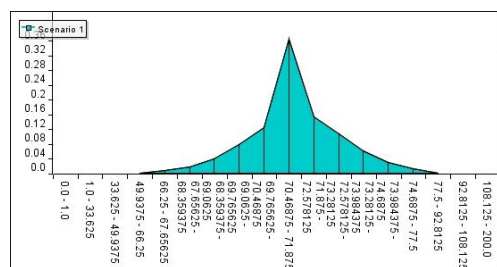
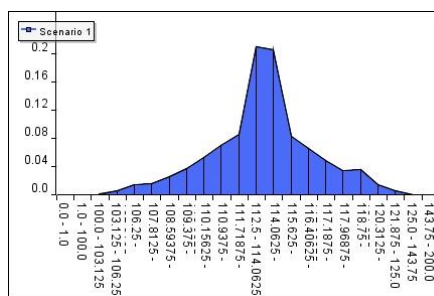
Parametr skali

Materiał

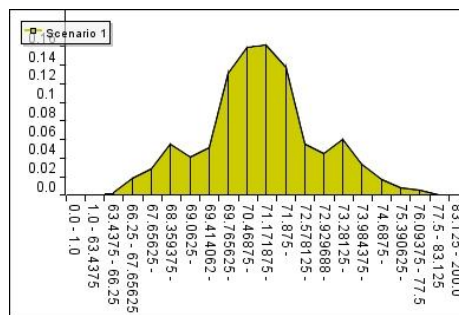
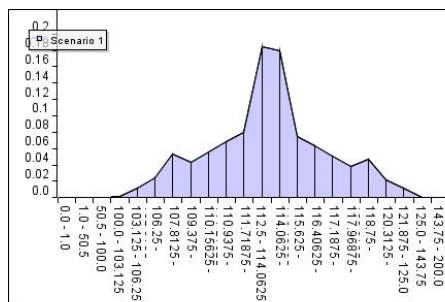
FSi

GDA

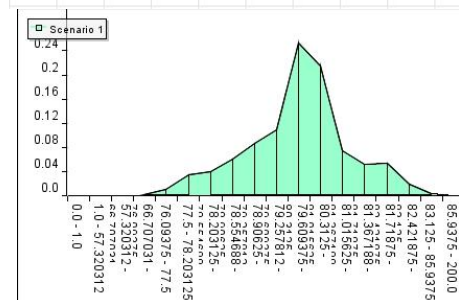
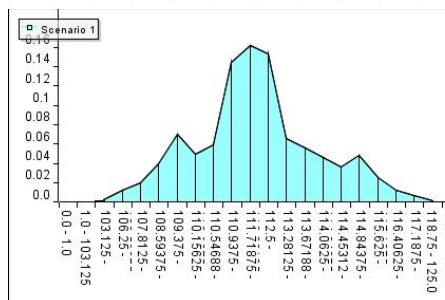
Lampa diodowa, czas naświetlania 40 sekund



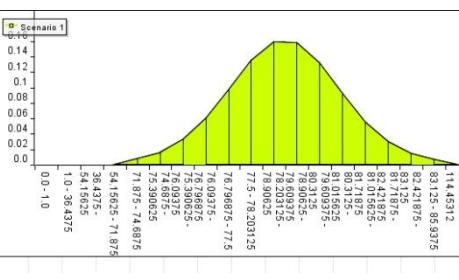
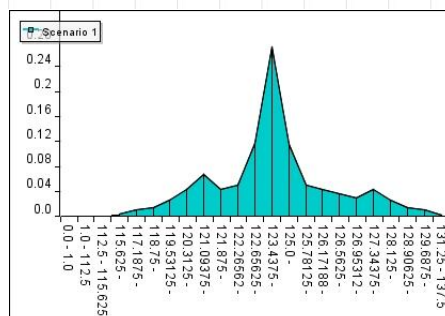
Lampa diodowa, czas naświetlania 60 sekund



Lampa halogenowa, czas naświetlania 40 sekund



Lampa halogenowa, czas naświetlania 60 sekund

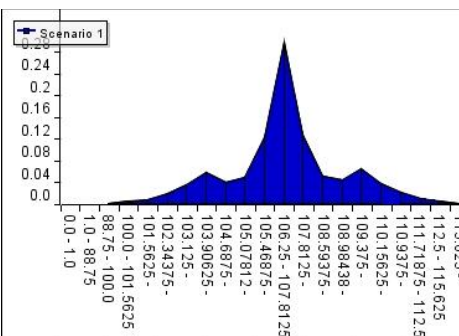
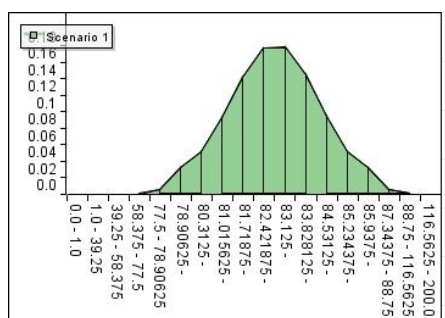


Material

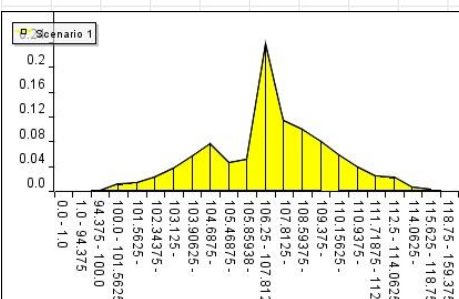
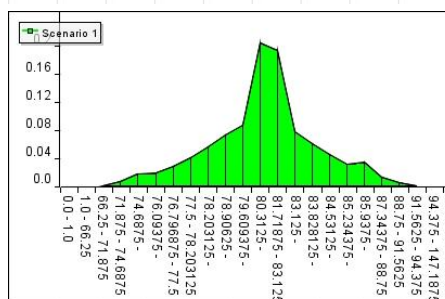
GDP

H

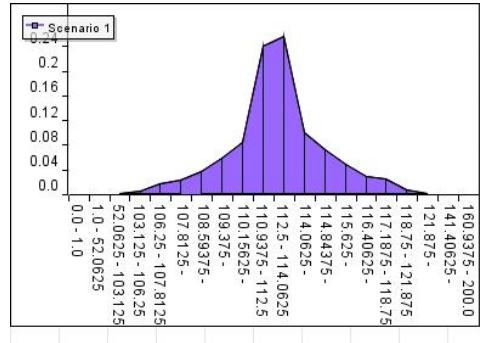
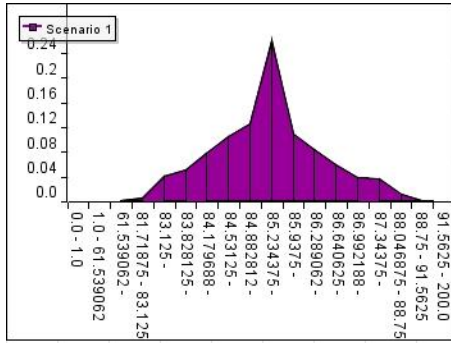
Lampa diodowa, czas naświetlania 40 sekund



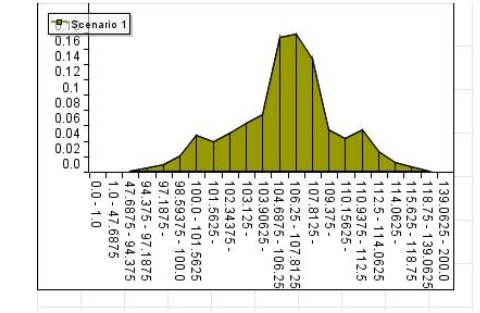
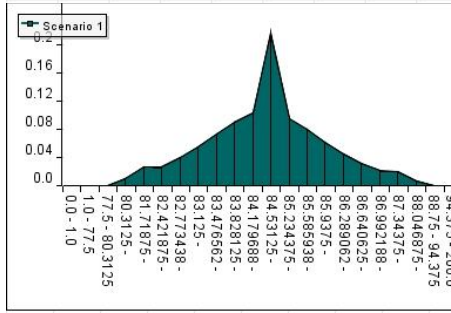
Lampa diodowa, czas naświetlania 60 sekund



Lampa halogenowa
czas naświetlania
40 sekund



Lampa halogenowa
czas naświetlania
60 sekund

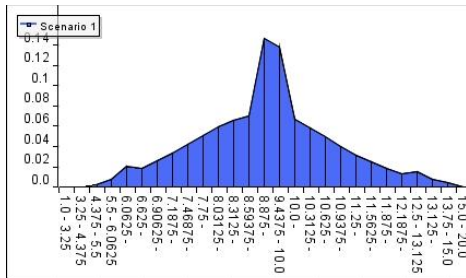


Parametr kształtu

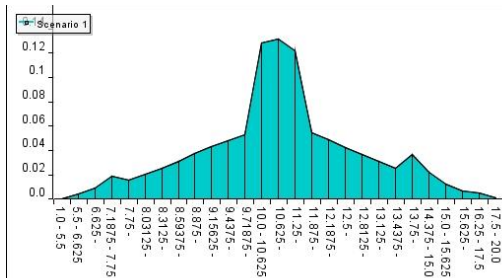
Materiał

Lampa diodowa,
czas naświetlania
40 sekund

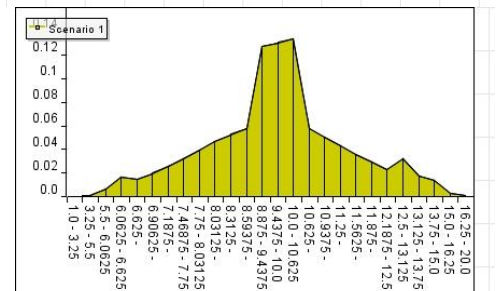
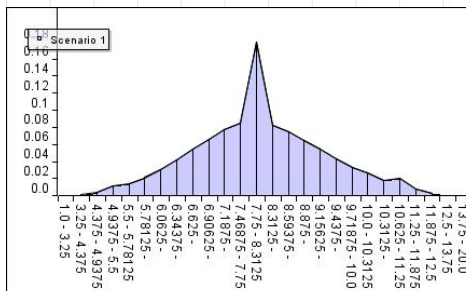
FSi



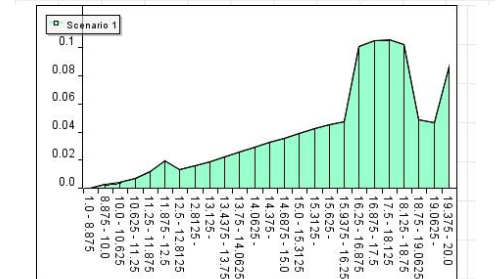
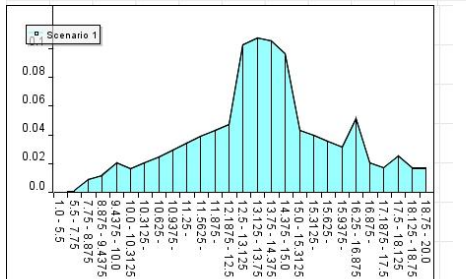
GDA



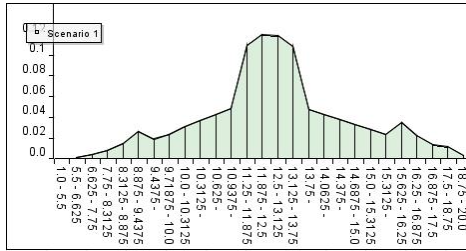
Lampa diodowa,
czas naświetlania
60 sekund



Lampa halogenowa
czas naświetlania
40 sekund

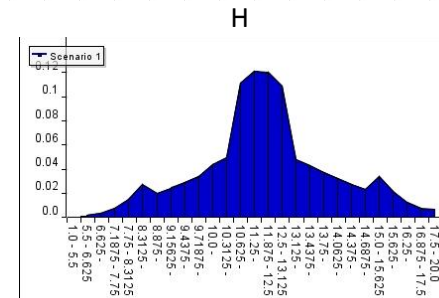
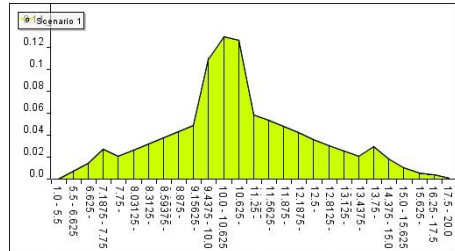
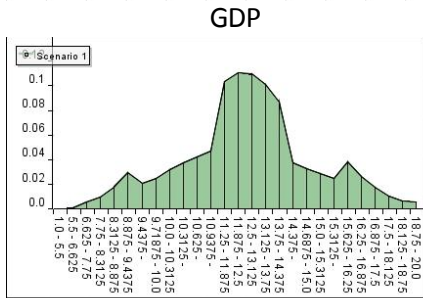


Lampa halogenowa
czas
naświetlania
60 sekund

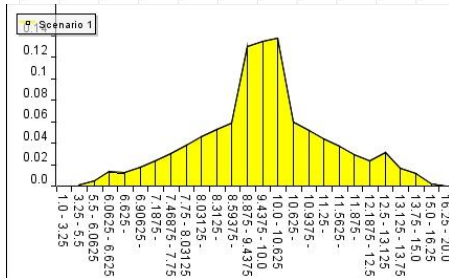
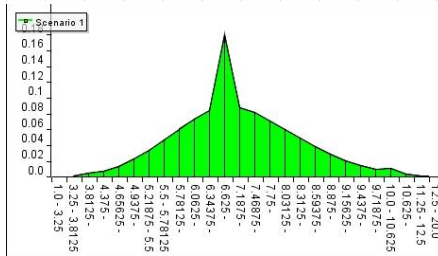


Materiał

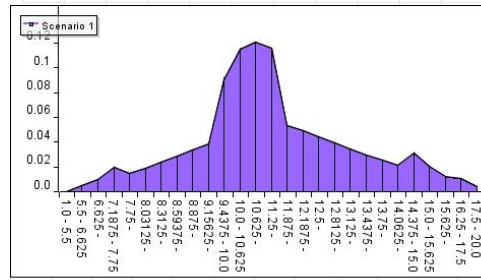
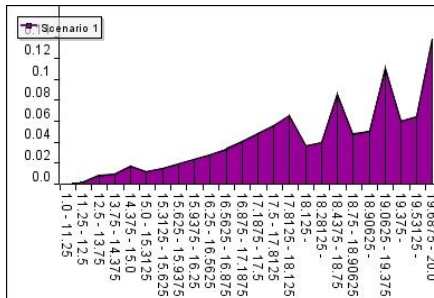
Lampa diodowa,
czas
naświetlania
40 sekund



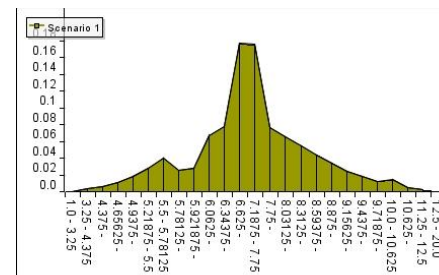
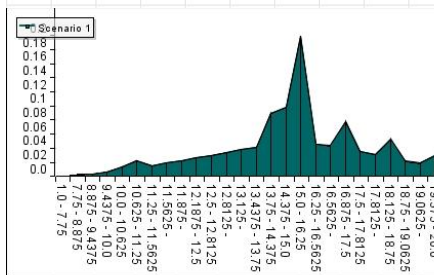
Lampa diodowa,
czas
naświetlania
60 sekund



Lampa halogenowa,
czas
naświetlania
40 sekund



Lampa halogenowa,
czas
naświetlania
60 sekund



Rysunek 4. Aposteryoryczne, warunkowe rozkłady prawdopodobieństwa parametrów rozkładu Weibull'a.

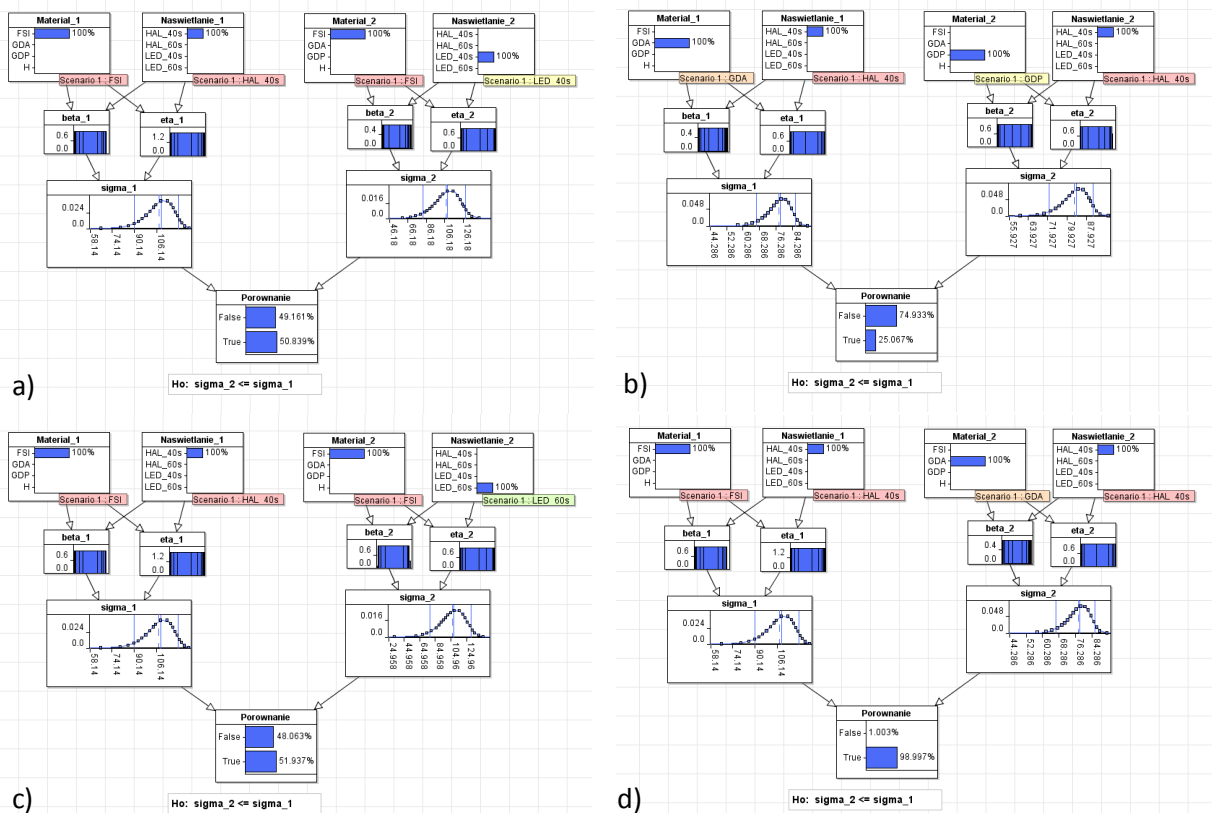
4. Wykorzystanie modelu do porównania pod względem wytrzymałości na zginanie badanych materiałów uwarunkowanych parametrami naświetlania.

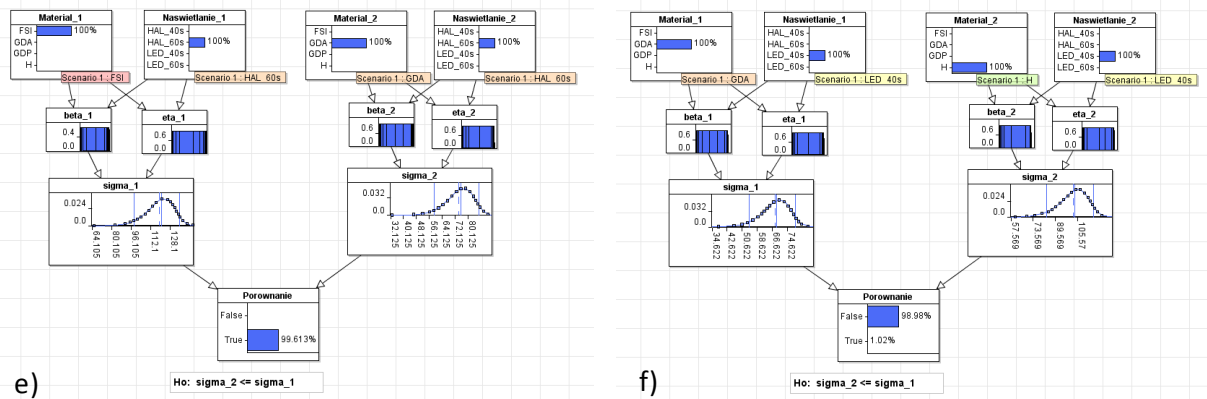
Problem porównywania obiektów o właściwościach znanych z dokładnością do rozkładu prawdopodobieństwa w klasycznej statystyce sprowadza się do porównania wartości średnich z uwzględnieniem ich przedziałów ufności. W przypadku statystyki bayesowskiej

mamy więcej niż średnią – mamy łączne rozkłady prawdopodobieństwa. Pozwala to na uzyskiwanie odpowiedzi z dokładnością do rozkładu prawdopodobieństwa na szereg pytań rozstrzygających czy też porównujących, np.:

- Czy wytrzymałość na zginanie materiału A poddanego naświetlaniu według procedury W1 nie jest mniejsza niż wytrzymałość na zginanie tego samego materiału poddanego naświetlaniu według procedury W2?
- Który z badanych materiałów przy tym samym rodzaju obróbki ma największą wytrzymałość w sensie prawdopodobieństwa, tego że wybrany materiał będzie nie gorszy od innych w kolejnych porównaniach?
- Czy materiał, który jest przy tych samych warunkach obróbki gorszy od innych można polepszyć poprzez stosowanie innego rodzaju obróbki?

W sieciach bayesowskich porównywanie sprowadza się do uruchomienia procedur inferencyjnych. Celem wnioskowania jest w tym przypadku odpowiedź na pytanie o stosunek (ile razy?) lub różnicę (o ile?) pomiędzy porównywanymi wielkościami o wyznaczonych rozkładach prawdopodobieństwa. W tym celu do sieci bayesowskiej dodawane są deterministyczne węzły reprezentujące różnicę lub stosunek porównywanych wielkości [3]. Przykładowe wyniki porównań przedstawiono na rysunku 5.





Rysunek 5. Porównanie wytrzymałości na zginanie próbek poddanych naświetleniu według różnych procedur

Oznaczenia na rysunku 5: **Materiał:** FSI - FiltekSiloran, GDA - Gradia Direct Anterior, GDP - Gradia Direct Posterior, H - Herculite XRV. **Naświetlanie:** HAL_40s – lampa halogenowa, czas naświetlania 40 sekund, HAL_60s - lampa halogenowa, czas naświetlania 60 sekund, LED_40s - lampa diodowa, czas naświetlania 40 sekund, LED_60s - lampa diodowa, czas naświetlania 60 sekund

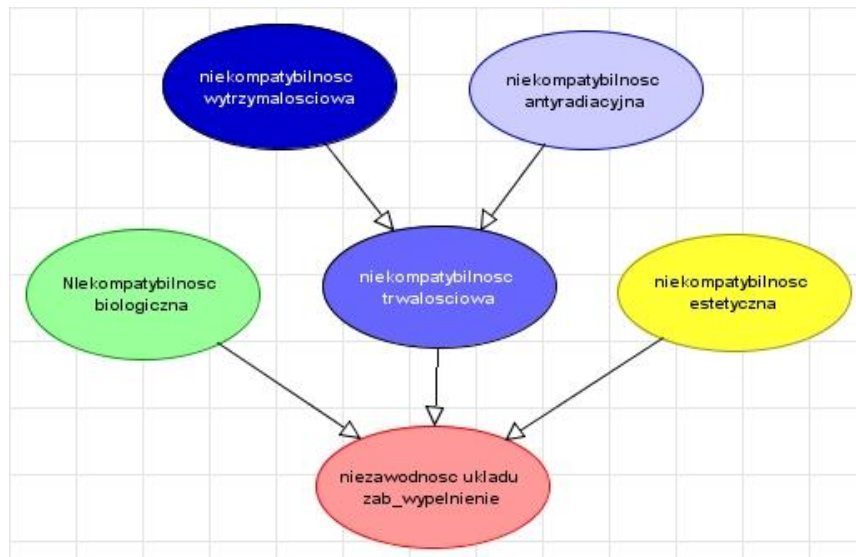
Przykładowa interpretacja porównań zamieszczonych na rysunku 5 jest następująca:

- w przypadku rys. 5.a) porównywana jest wytrzymałość na zginanie materiału FSI naświetlanego lampą halogenową przez 40 sekund z wytrzymałością na zginanie materiału FSI naświetlanego lampą diodową przez 40 sekund. Z rysunku widać, że hipoteza zerowa mówiąca, że zastosowanie fotopolimeryzacji lampą diodową skutkuje mniejszą wytrzymałością na zginanie niż w przypadku fotopolimeryzacji lampą halogenową jest prawdziwa z prawdopodobieństwem 50,839%. Taki wynik porównania oznacza, że różnica wytrzymałości w tych dwóch przypadkach jest mało istotna.
- w przypadku rys.5.b) porównywana jest wytrzymałość na zginanie materiału GDA z wytrzymałością na zginanie materiału GDP, w obydwu przypadkach naświetlanych lampą halogenową przez 40 sekund. Z rysunku widać, że hipoteza zerowa mówiąca, że zastosowanie materiału GDP skutkuje mniejszą wytrzymałością na zginanie niż GDA jest prawdziwa z prawdopodobieństwem 25,067%. Taki wynik porównania oznacza, że różnica wytrzymałości w tych dwóch przypadkach jest istotna na korzyść materiału GDP.

Pozostałe porównania interpretuje się analogicznie.

5. Model niezawodnościowy układu zęb – wypełnienie stomatologiczne

Do modelowania tego typu układów wygodnym narzędziem są sieci bayesowskie, a w szczególności ich subkategoria - probabilistyczne sieci boolowskie. Węzłami tych sieci są w tym przypadku predykatory reprezentujące poszczególne rodzaje niekompatybilności układu biotechnologicznego (Rys. 6).

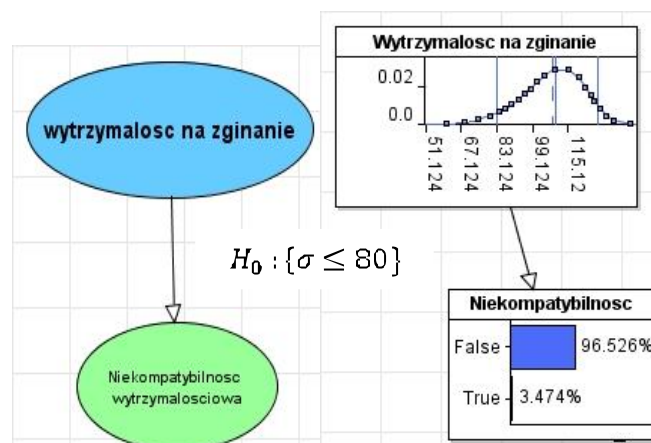


Rys. 6. Schemat sieci reprezentującej model niezawodnościowy układu zęb – wypełnienie stomatologiczne.

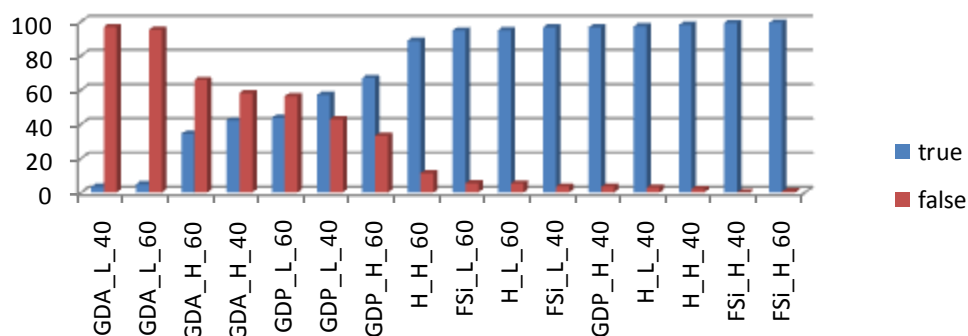
W artykule ograniczono się do rozpatrywania niezawodności w odniesieniu do „uszkodzenia” typu niekompatybilność wytrzymałościowa. Zdarzenie polegające na zaistnieniu niekompatybilności wytrzymałościowej traktowane jest jako zdarzenie losowe polegające na wystąpieniu kompozytu stomatologicznego o wytrzymałości na zginanie mniejszej, niż wymagana przez normę (w momencie zakładania materiału stomatologicznego wytrzymałość materiału jest znana z dokładnością do rozkładu prawdopodobieństwa). Miarą zawodności jest prawdopodobieństwo wystąpienia tego zdarzenia (Rys.7).

Wymagana przez normę PN-EN ISO 4049:2010E wytrzymałość na zginanie badanych materiałów (Typ 1, klasa 2, grupa 1) wynosi 80 MPa.

Rysunek 7 przedstawia fragment sieci, która pozwala na określenie niekompatybilności dla materiału Filtek Siloran naświetlanego lampą diodową przez 40 sekund. W tym przypadku prawdą jest hipoteza mówiąca, że tak przygotowany materiał jest niekompatybilny wytrzymałościowo (true) czyli ma mniejszą wytrzymałość na zginanie niż 80 MPa.



Rys. 7. Niezawodność układu „zęb-wypełnienie stomatologiczne” jako prawdopodobieństwo niewystąpienia niekompatybilności wytrzymałościowej.



Rys.8. Ranking materiałów stomatologicznych pod względem ich kompatybilności wytrzymałościowej.

Stosując miarę niezawodności układu „zab-wypełnienie stomatologiczne” zdefiniowaną jako prawdopodobieństwa niewystąpienia niekompatybilności wytrzymałościowej dla pozostałych badanych materiałów stomatologicznych i różnych warunków ich polimeryzacji otrzymano wyniki pokazane na rysunku 8. Jak widać, większość badanych materiałów nie zapewnia kompatybilności wytrzymałościowej z akceptowalnym prawdopodobieństwem.

6. Podsumowanie

W pierwszej części pracy przedstawiono zastosowanie bayesowskiego modelowania probabilistycznego jako sposobu standaryzacji opracowania wyników pomiarów uzupełniającego standaryzację wyznaczającą wytrzymałość kompozytów stomatologicznych. Technologia bayesowskiego modelowania probabilistycznego narzuca jednolitą, wystarczająco ekspresywną interpretację uzyskanych wyników. Produktem tej technologii jest formalny i wykonywalny model (system reprezentacji wiedzy). Jest to zmiana tradycyjnego sposobu interpretacji badań wytrzymałościowych, robionych na żądanie i obliczeniowo nienawiających do badań poprzednich, w adaptacyjny proces kumulacji wiedzy w postaci coraz dokładniejszych modeli.

W drugiej części pracy zaproponowano konceptualizację i metodę modelowania niezawodnościowego układów biotechnologicznych w odniesieniu do „uszkodzeń” będących zaistnieniem określonego typu niekompatybilności pomiędzy komponentami układu biotechnologicznego. Odpowiednią w tym przypadku metodą modelowania niezawodności są sieci bayesowskie, których węzły reprezentują znane z dokładnością do rozkładu prawdopodobieństwa zdarzenia zaistnienia niekompatybilności.

7. Literatura

1. Asmussen E., Peutzfeldt A. Influence of UEDMA, BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. *Dental Materials*, 1998 Jan;14(1): 51-6.
2. Bayesian Inference for NASA Probabilistic Risk and Reliability Analysis NASA/SP-2009-569, June 2009.
3. Ben-Gal I., Bayesian Networks, in Ruggeri F., Faltin F. & Kenett R., *Encyclopedia of Statistics in Quality & Reliability*, Wiley & Sons (2007).

4. Della Bona A. Characterizing ceramics and the interfacial adhesion to resin: I – The relationship of microstructure composition, properties and fractography. *Journal Applied Oral Science* 2005; 13: 1-9.
5. Fenton NE and Neil M. *Visualising Risk*, www.agenarisk.com, 2006.
6. Fenton NE and Neil M. *Combining Evidence in Risk Analysis Rising Bayesian Networks*, Agena White Paper, Agena White Paper W0704/01, www.agena.co.uk, 2004.
7. Halpern J. Y. *Reasoning about uncertainty*. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, 2005.
8. Jansen F. V. *An introduction to Bayesian Networks*. Taylor & Francis, London 1996.
9. Neil M, Fenton NE, Nielsen L. *Building large-scale Bayesian Networks*. *The Knowledge Engineering Review*, 2000,(3)15: 257-284.
10. Niewczas A., Pieniak D., Ogrodnik P. Analiza niezawodnościowa wytrzymałości kompozytów stomatologicznych poddanych zróżnicowanym procedurom fotopolimeryzacji. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2012; 3(14): 249-255.
11. Pearl J. (1986). *Fusion, Propagation, and Structuring in Belief Networks*. *Artificial Intelligence* 29(3): 241-288.
12. Pearl J. *Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible reasoning*. Morgan-Kaufman Publ. Inc. 1988.
13. Pieniak D., Niewczas A.M., Niewczas A., Bieniaś J. *Analysis of Survival Probability and Reliability of the Tooth-composite Filling System*. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2011; 2(50): 25-34,
14. PN-EN ISO 4049:2010E. *Stomatologia - Materiały polimerowe do odbudowy*.
15. Rodriguez S. A. Jr., Ferracane J.L., Della Bona A. *Flexural strength and Weibull analysis of a microhybrid and a nanofill composite evaluated by 3- and 4- point bending tests*. *Dent Mater* 2008; 24(3): 426-431