

## WYKORZYSTANIE ROZKŁADÓW PRAWDOPODOBIENSTWA W SYSTEMIE OCENY MAGAZYNOWANEJ AMUNICJI

*W artykule przedstawiono propozycję nowego modelu ocenowego badanej amunicji. Na przykładzie zapalników artyleryjskich, dokonano krótkiej analizy wyników badań oraz na ich podstawie scharakteryzowano sposób oceny oparty na rozkładach prawdopodobieństwa.*

### 1. Proponowany model ocenowy

Badania jakości partii zapalników artyleryjskich w proponowanym modelu ocenowym polegają na przeprowadzeniu badań wybranych charakterystycznych cech, które prowadzą do częściowego lub całościowego określenia rozkładu tej badanej cechy, uwzględniającego jej losowy charakter. Ocena natomiast wyników badań oparta jest na hipotezie o jednakowym rozkładzie czasu trwałości badanych elementów ( modułów ) we wszystkich zbiorach reprezentowanych przez badane próbki losowe oraz na wykorzystaniu do tego celu rozkładów prawdopodobieństwa.

Proponowany algorytm badawczo – ocenowy proponowanego modelu badań przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Lp.	Rodzaj badania	Liczność próbki [szt.]	Oceny i decyzje
1	Badanie laboratoryjne	n	Bn
2	Badanie laboratoryjne	n	Ns
3	Badanie laboratoryjne	n	Nz
4	Badanie laboratoryjne	n	W

#### Objaśnienia:

- Bn - wynik badania laboratoryjnego pozytywny, partia jest zdatna do użytkowania i składowania, następne badanie diagnostyczne przeprowadzić po n latach składowania. Prognoza zdatności od 1 do 5 lat. Następne badanie przeprowadzić przy tej samej liczności próbki do badań.
- Ns - partia przeznaczona do naprawy średniej.
- Nz - partia przeznaczona do naprawy zakładowej.
- W - partia niezdatna do użytkowania i składowania – wycofać z uzbrojenia.
- n - liczba sztuk do badań w zależności od typu elementu ( rodzaju modułu ), w przypadku zapalników wynosi ona 50 sztuk.

Klasyfikację niezgodności występujących podczas badania oraz ich klasa ważności określana jest w postaci tabel niezgodności. Na każdy rodzaj modułu opracowano szczegółową tabelę niezgodności, w której są klasyfikowane poszczególne badane cechy podczas badań laboratoryjnych.

W procesie badań laboratoryjnych niezgodności właściwości diagnostycznych kryterialnych poszczególnych typów lub wzorów wyrobów poddaje się klasyfikacji przypisując im odpowiednie wagi według następujących zasad:

- Klasa „A” – niezgodności dyskwalifikujące partię wyrobów ze względu na bezpieczeństwo w procesie eksploatacji;
- Klasa „B” – niezgodności bardzo istotne, których występowanie decyduje o prawidłowości działania wyrobów;
- Klasa „C” – niezgodności mało istotne wskazujące na zapoczątkowany proces naturalnego starzenia się partii wyrobów.

Reasumując możemy stwierdzić, że punktem wyjścia naszego badania jest zatem pobranie n-elementowej próbki losowej prostej, a następnie wyznaczenie liczby interesujących zdarzeń lub wartości cech charakteryzujących każdy badany element próbki. W rezultacie, wyniki badań otrzymuje się w postaci zbioru wartości cech lub liczby zaistniałych zdarzeń. Na tym etapie można już przystąpić do wnioskowania statystycznego, na podstawie otrzymanych wyników badań.

Posiadając wyniki badań wszystkich cech, przystępujemy do ich analizy na podstawie stosowanych w rachunku prawdopodobieństwa typowych rozkładów prawdopodobieństwa.

W celu podjęcia dokładnej prognozy ( oceny ), dotyczącej zbadanej partii zapalników, ustalono ściśle wartości progowe funkcji niezawodności, które klasyfikują w sposób jednoznaczny i bardzo dokładny, partię naboju ukończoną w badany zapalnik do określonego rodzaju naprawy lub do wycofania z wojsk.

Jeżeli rozpatrywany nabój posiada szeregową strukturę niezawodnościową to wartość funkcji niezawodności dla całego naboju określamy ze wzoru:

$$R(u) = R_P(u) \cdot R_Z(u) \cdot R_M(u) \cdot R_C(u) \cdot R_N(u) \cdot R_S(u) \quad (1)$$

gdzie indeksy dolne oznaczają:

P – zapalnik; Z – zapłonnik; M – ładunek prochowy; C – materiał kruszący;

N – nabój jako element; S – smugacz.

Jeżeli rozpatrywany nabój posiada równoległą strukturę niezawodnościową to postępujemy nieco inaczej, a mianowicie określamy wartość funkcji zawodności dla całego naboju ze wzoru:

$$Q(u) = Q_P(u) \cdot Q_Z(u) \cdot Q_M(u) \cdot Q_C(u) \cdot Q_N(u) \cdot Q_S(u) \quad (2)$$

Własności obliczonych wskaźników niezawodności zależą silnie od typu rozkładu czasu zdatności badanego elementu. Znajomość typu rozkładu czasu zdatności umożliwia wykorzystanie w trakcie badań niezawodnościowych efektywnych metod estymacji parametrycznej. Chodzi o to, że rozkład danego typu jest określony jednoznacznie za pomocą kilku parametrów. W związku z tym wszystkie wskaźniki niezawodności badanego obiektu są odpowiednimi funkcjami tych parametrów. W skrajnym przypadku, gdy rozkład jest jednoparametrowy, to do określenia wszystkich wskaźników niezawodności wystarczy odpowiednio dokładne określenie tego jednego parametru. Umożliwia to znaczne ułatwienie przeprowadzenia niezbędnych badań niezawodnościowych.

Należy jednak zaznaczyć, że możliwych rozkładów prawdopodobieństwa czasu zdatności jest nieskończenie dużo. Najczęściej spotykane są w zastosowaniach praktycznych trzy podstawowe a mianowicie wykładniczy, gamma i normalny. Sposób obliczenia funkcji niezawodności lub zawodności przy stosowaniu rozkładu wykładniczego przedstawiono w „Problemach techniki uzbrojenia” w roku 2005, natomiast poniżej przedstawiony zostanie sposób określenia tej funkcji za pomocą rozkładu normalnego i gamma.

## 2. Rozkład normalny

Rozkład normalny jest jednomodalny i symetryczny względem wartości średniej, a więc wartość oczekiwana, mediana i wartość modalna są sobie równe, a wszystkie momenty centralne rzędu nieparzystego są równe 0. Dystrybuanta zmiennej losowej o rozkładzie normalnym jest nazywana całką Laplace’a, a jej wartości podane są w tablicach w literaturze.

Metodę oszacowania parametrów rozkładu normalnego przedstawiono niżej. Przyjmując, że czas poprawnej pracy badanego elementu amunicji można w przybliżeniu opisać rozkładem normalnym, poszukiwać będziemy określonego prawdopodobieństwa, że wartość określonej zmiennej losowej przyjmie wielkość z danego przedziału wielkości dopuszczalnych. Podobnie jak w przypadku rozkładu wykładniczego, rozpatrywać się będzie tylko niezgodności klasy „B” czyli niezgodności dopuszczalne, jakie zostaną ujawnione podczas badań diagnostycznych. Niezgodności krytyczne klasy „A”, w przypadku gdy zostaną ujawnione podczas badań, dyskwalifikują dany element amunicji.

Rozkład normalny, jest całkowicie określony przez podstawowe dwa parametry czyli wartość średnią i odchylenie standardowe. W celu przybliżenia sposobu określania wartości średniej oraz odchylenia standardowego, niżej przedstawiono metodę określania tych wielkości dla przykładowego badanego zapalnika, w którym podstawowym parametrem mierzonym podczas badań jest czas działania opóźniacza prochowego. Wyniki przykładowych pomiarów podano w tabeli 2.

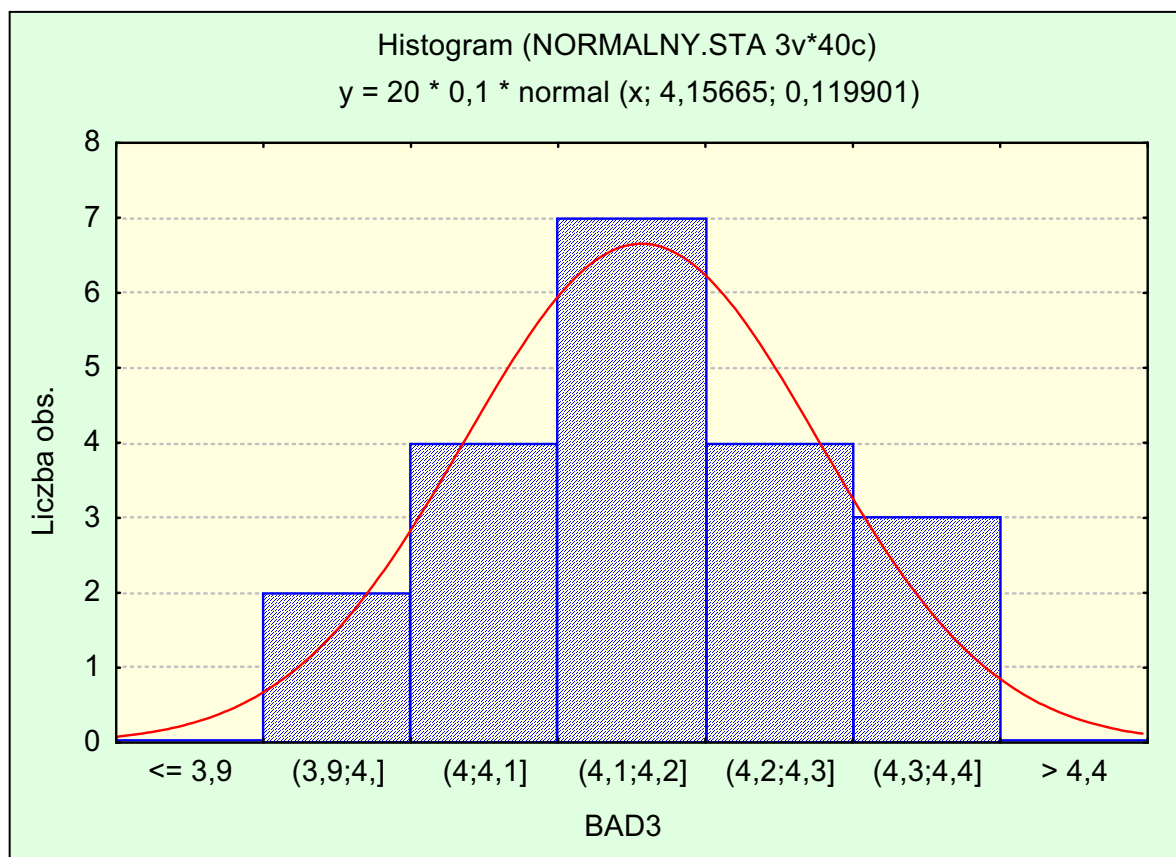
Obliczamy wartość średnią i wartość odchylenia standardowego dla tego badania liczonego jako pierwiastek kwadratowy ze średniego kwadratu odchyleń wielkości mierzonych od ich średniej. Wartość średnia wyniosła 4,1566 natomiast wartość odchylenia standardowego w tym przypadku wynosi  $\delta = 0,1199$ .

Tabela 2

Numer zapalnika	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Czas działania ( sek. )	4,108	4,216	4,225	4,188	4,079	4,174	4,227	3,919	4,180	4,315
Numer zapalnika	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Czas działania ( sek. )	4,109	4,361	4,148	4,070	4,212	4,392	4,031	4,065	3,973	4,141

Interpretację graficzną tabeli wyników 2 przedstawia rysunek 1. Mając obliczone podstawowe parametry dla rozkładu normalnego, następnie należy przeliczyć je na jednostki standardowego rozkładu normalnego, dla którego są opracowane gotowe tablice do określenia prawdopodobieństwa zdatności badanego elementu ze względu na badaną cechę. W przypadku rozpatrywanego zapalnika przyjmijmy, że badany czas działania opóźniacza musi

zawierać się w przedziale od 2,9 sekundy do 4,4 sekundy. Po przeliczeniu tych czasów na jednostki standardowe otrzymujemy punkty standardowe  $z_1 = 2,03$  i  $z_2 = -10,48$ . Po odczytaniu odpowiadających im wielkości z gotowych tablic standardowego rozkładu normalnego otrzymuje się wartości pola obszaru pod krzywą normalną wynoszące 0,48 i 0,5. Funkcja niezawodności czy też prawdopodobieństwo zdatności badanej cechy elementu jest więc na poziomie 98 %, co oznacza, że badany element jest niezawodny w eksploatacji ze względu na rozpatrywaną cechę charakterystyczną dla tego rodzaju elementu amunicji w obliczonej wielkości.

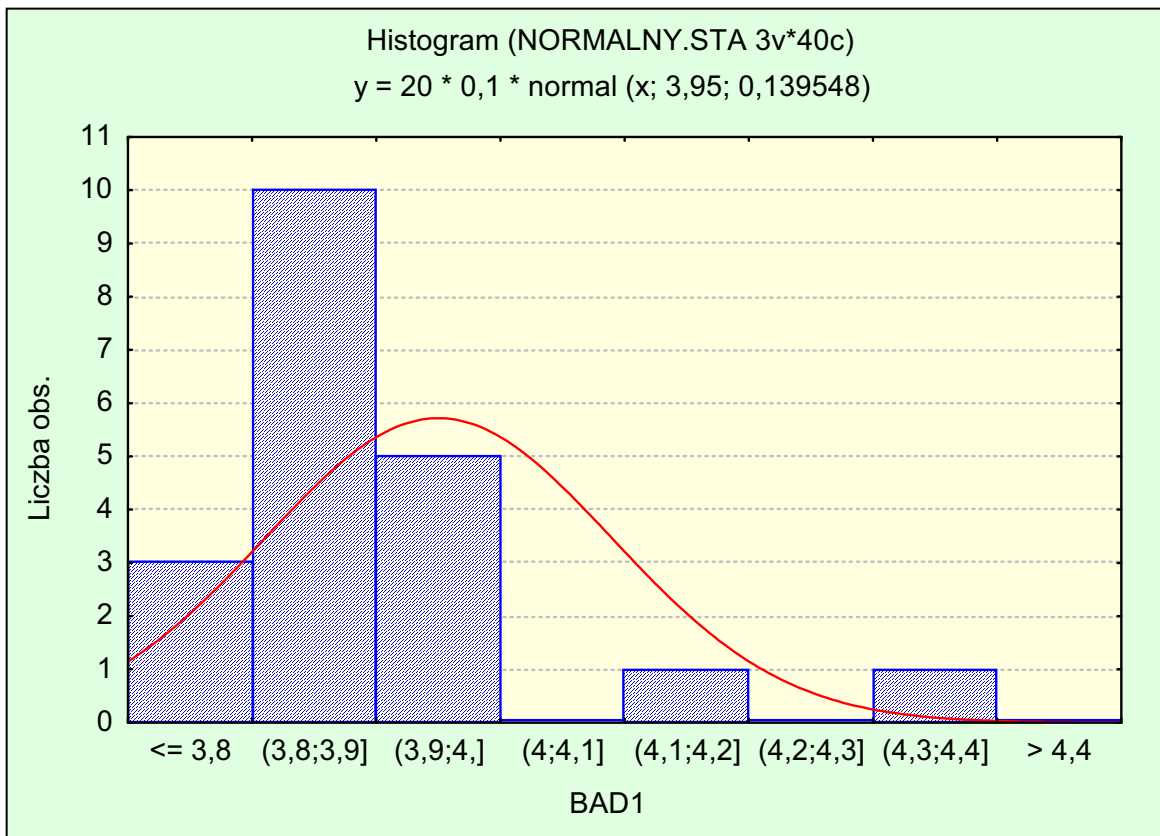


**Rys. 1 Rozkład normalny badanego parametru zapalnika przy trzecim badaniu po 30 latach magazynowania**

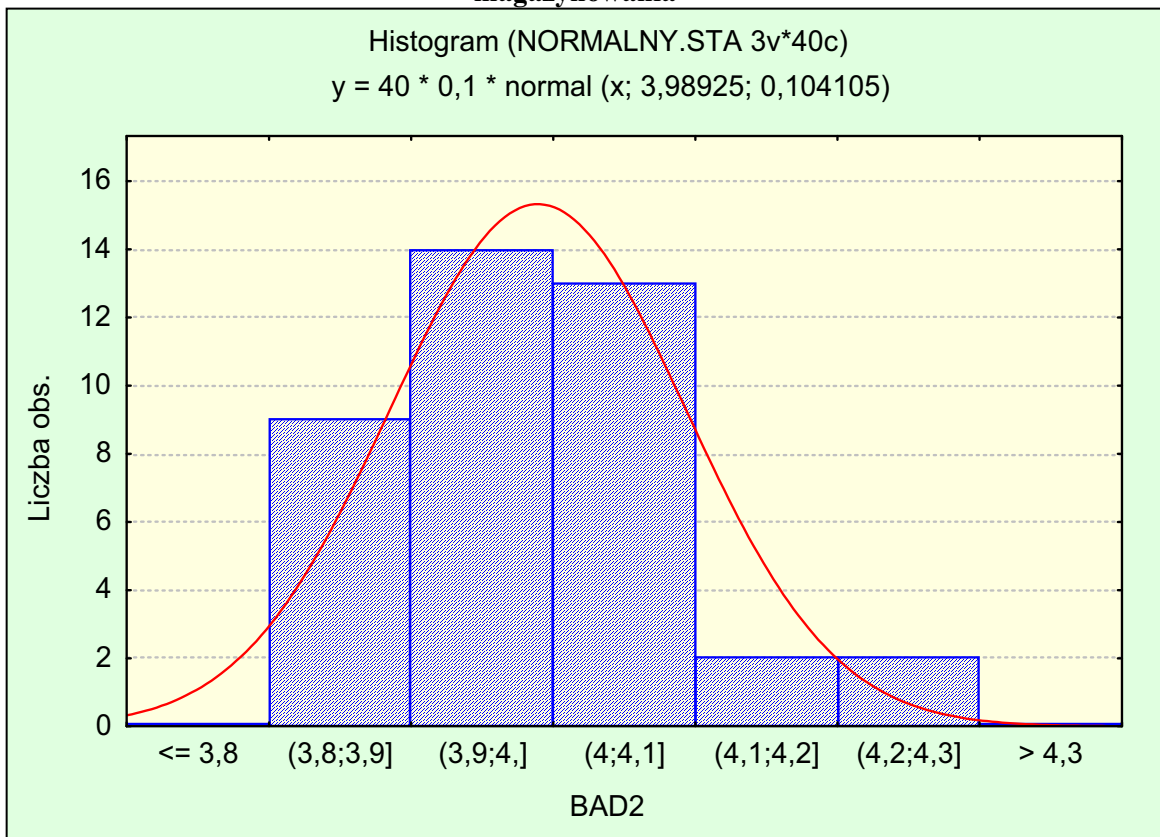
Dla porównania otrzymywanych wyników, na rysunkach 2 i 3 przedstawiono interpretację graficzną rozkładu normalnego wyników badań, dla tej samej partii zapalników, jednakże badanej we wcześniejszych cyklach badawczych tzn. w pierwszym i drugim cyklu według dotychczasowej metody badań.

Przy pierwszym cyklu badań, wartości punktów standardowych wyniosły  $z_1=3,23$  i  $z_2=-7,53$ , co dało nam prawdopodobieństwo zdatności badanej cechy elementu na poziomie 100 %, natomiast przy drugim cyklu badań, w którym licznosc próbek do badań wynosiła 40 sztuk, wartości punktów standardowych wyniosły  $z_1=3,94$  i  $z_2=-10,47$ , co dało nam także prawdopodobieństwo na poziomie 100 %.

W ten sam sposób rozpatruje się wszystkie pozostałe mierzalne cechy dopuszczalne w każdym rodzaju badanego elementu amunicji. Wartości te są prawdopodobieństwem zdatności tego elementu jakie należy przyjąć do dalszych obliczeń w celu wyznaczenia całkowitej funkcji niezawodności rozpatrywanego środka bojowego.



Rys. 2 Rozkład normalny badanego parametru zapalnika przy pierwszym badaniu po 14 latach magazynowania

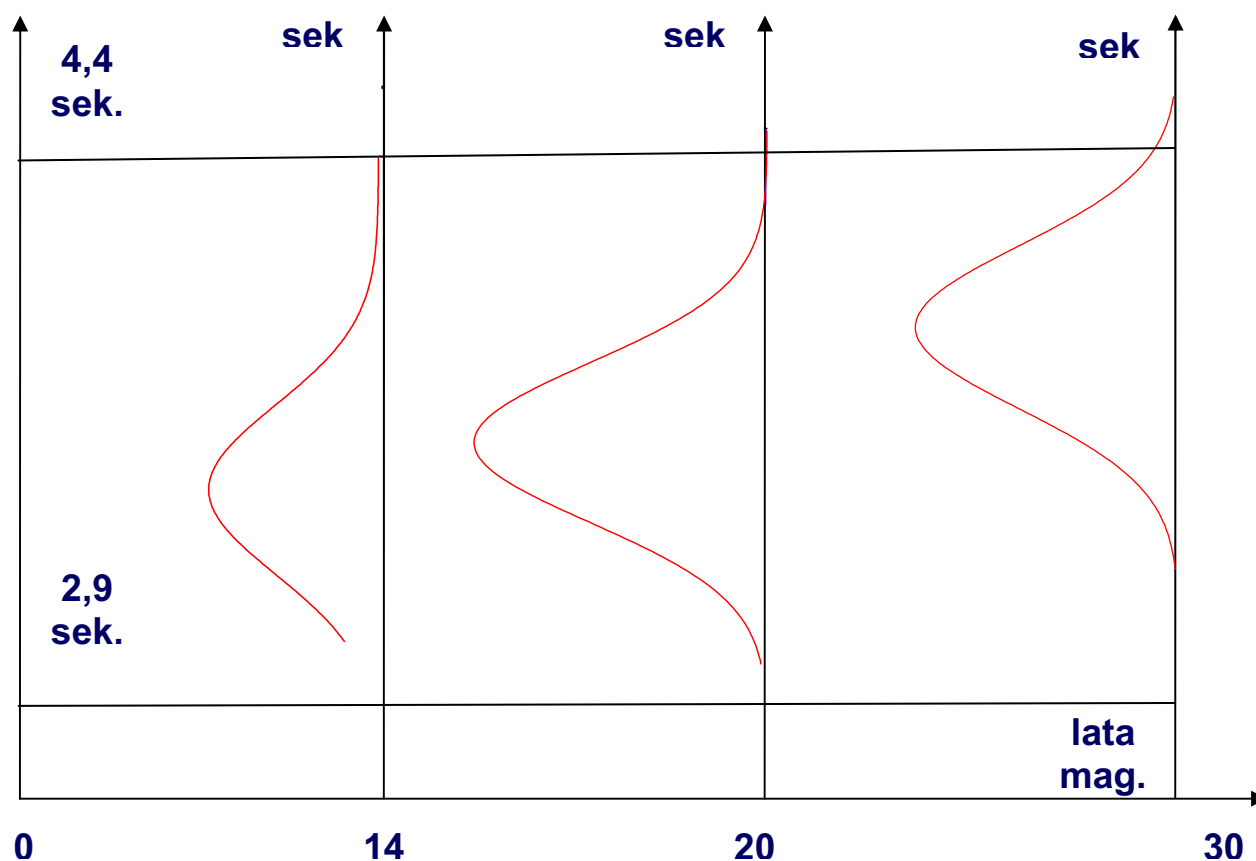


Rys. 3 Rozkład normalny badanego parametru zapalnika przy drugim badaniu po 20 latach magazynowania

Sposób oraz metodę obliczenia całkowitej funkcji niezawodności dla badanego środka bojowego w zależności od struktury niezawodnościowej amunicji, należy określić podobnie jak przy rozkładzie wykładniczym czasu zdatności badanych elementów. Sposób ten został opisany w Problemach Techniki Uzbrojenia nr 2 z 2005 roku.

Dla tak otrzymanych rozkładów normalnych badanego parametru można sporządzić zestawienie zbiorcze tych rozkładów, które zostało przedstawione na rysunku 4. Z zestawienia tego wynika, że badany parametr zapalnika tzn. opóźniacz prochowy zapalnika UZRGM, po 30 latach magazynowania wykazuje bardzo dobre własności eksploatacyjne i może być składowany przez następne 5 lat. Po tym okresie magazynowania powinien być badany ponownie w kolejnym cyklu badawczym.

### Badany parametr

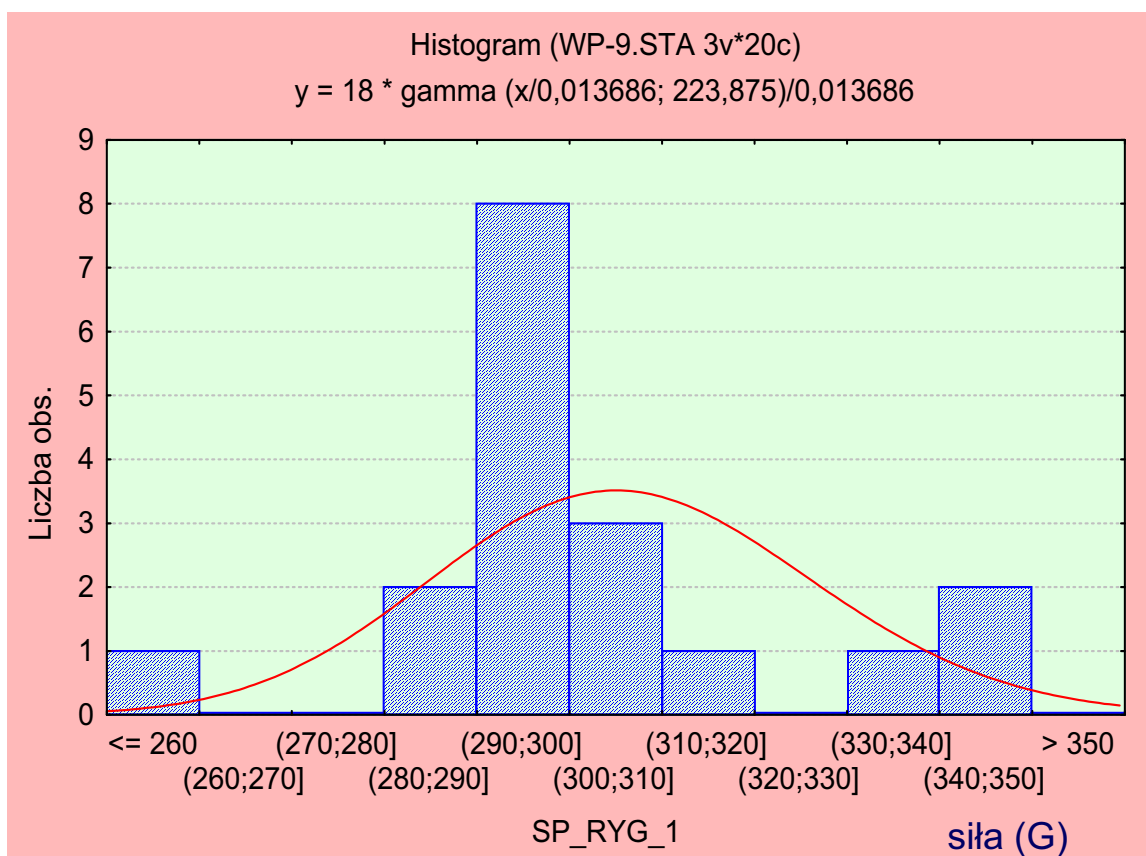


Rys.4 Zestawienie rozkładów normalnych badanego parametru zapalnika

### 3. Rozkład gamma.

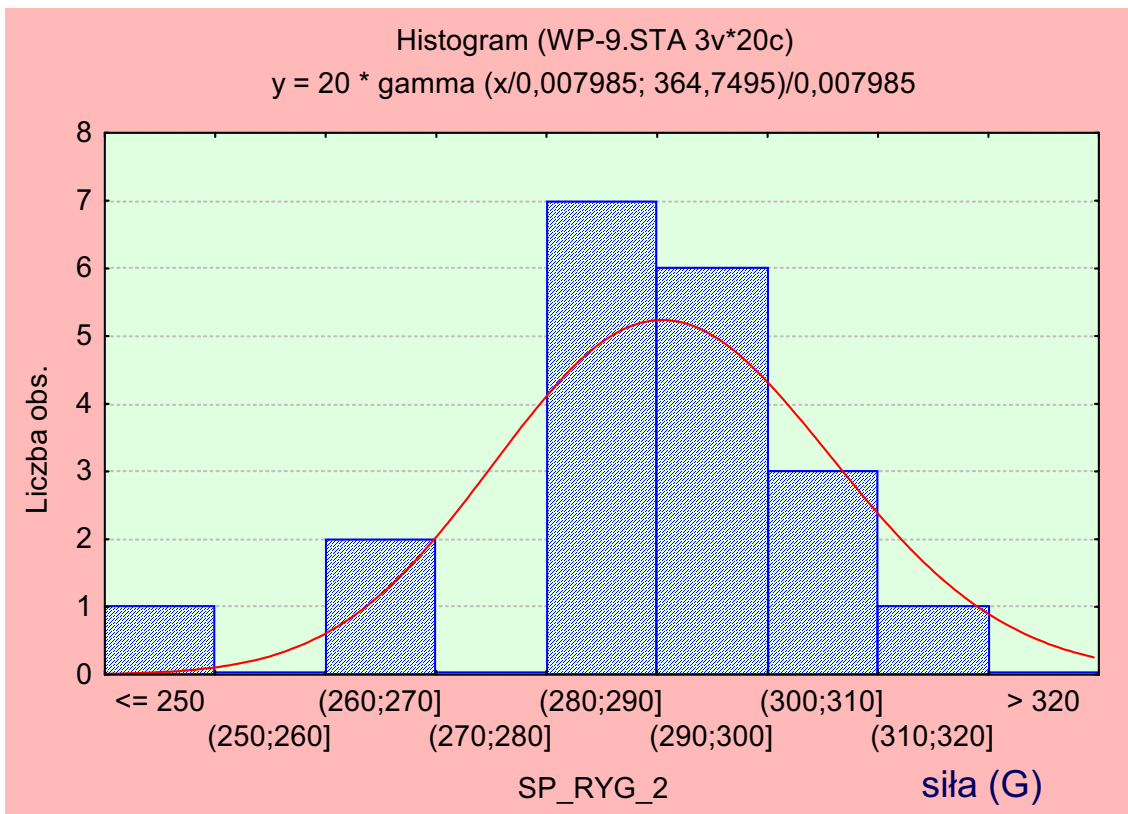
Wyniki badań elementów środków bojowych można oszacowywać także za pomocą najprostszego z rozkładów gamma a mianowicie dwuparametrowego rozkładu gamma, ponieważ jest to rozkład bardzo przydatny w statystycznym badaniu wyrobów. Parametrami tego rozkładu są parametr skali i kształtu.

Na rysunkach od 5 do 7 przedstawione zostały interpretacje graficzne badanego parametru zapalnika WP-9, a tym parametrem były wyniki badań bezpiecznika torowego zastosowanego w tym zapalniku.

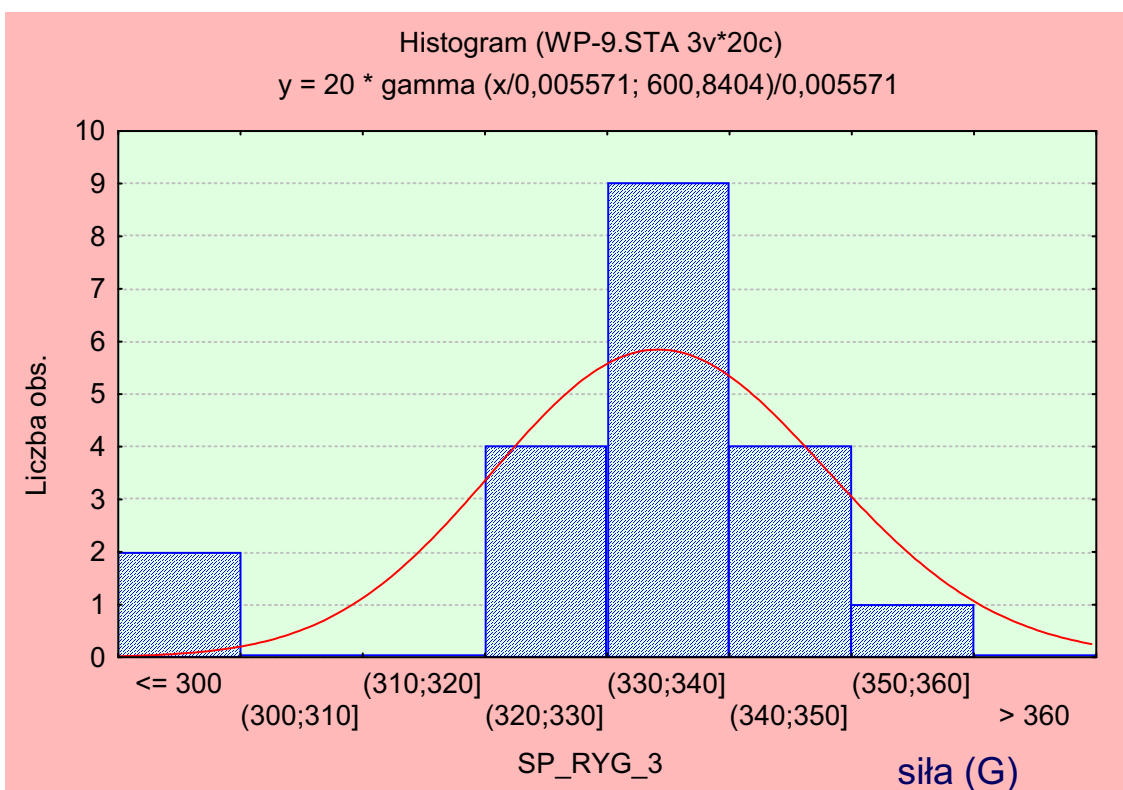


**Rys. 5 Rozkład gamma badanego parametru zapalnika po 14 latach magazynowania**

Podobnie jak dla rozkładu normalnego sporządzono takie samo zestawienie zbiorcze dla rozkładu gamma, dla rozpatrywanego badanego parametru zapalnika. Zestawienie to przedstawia rysunek 8, z którego wynika, że badany parametr zapalnika czyli własności bezpiecznika torowego zapalnika WP-9 już w wieku 14 magazynowania wykazują odstępstwa od normy, jednakże mieszczą się one w dopuszczalnych granicach. W wieku 17 lat parametr ten praktycznie jest na granicy dopuszczalnej, natomiast w wieku 21 lat własności jego wracają do wartości nominalnych. Jest to trochę dziwna sytuacja, gdyż zgodnie z tymi wynikami badań okazuje się, że im dłużej element ten jest magazynowany, tym jego stan techniczny jest lepszy. W praktyce taka sytuacja może się zdarzyć, ponieważ wynik badania jest uzyskiwany na podstawie przebadanej próbki badawczej, natomiast skąd ona jest wzięta i jak była do tej pory składowana zależy przede wszystkim od użytkownika tej amunicji. Duży wpływ w tym przypadku na stan jakościowy badanego elementu w chwili badania może mieć także jakość produkcji tego elementu.



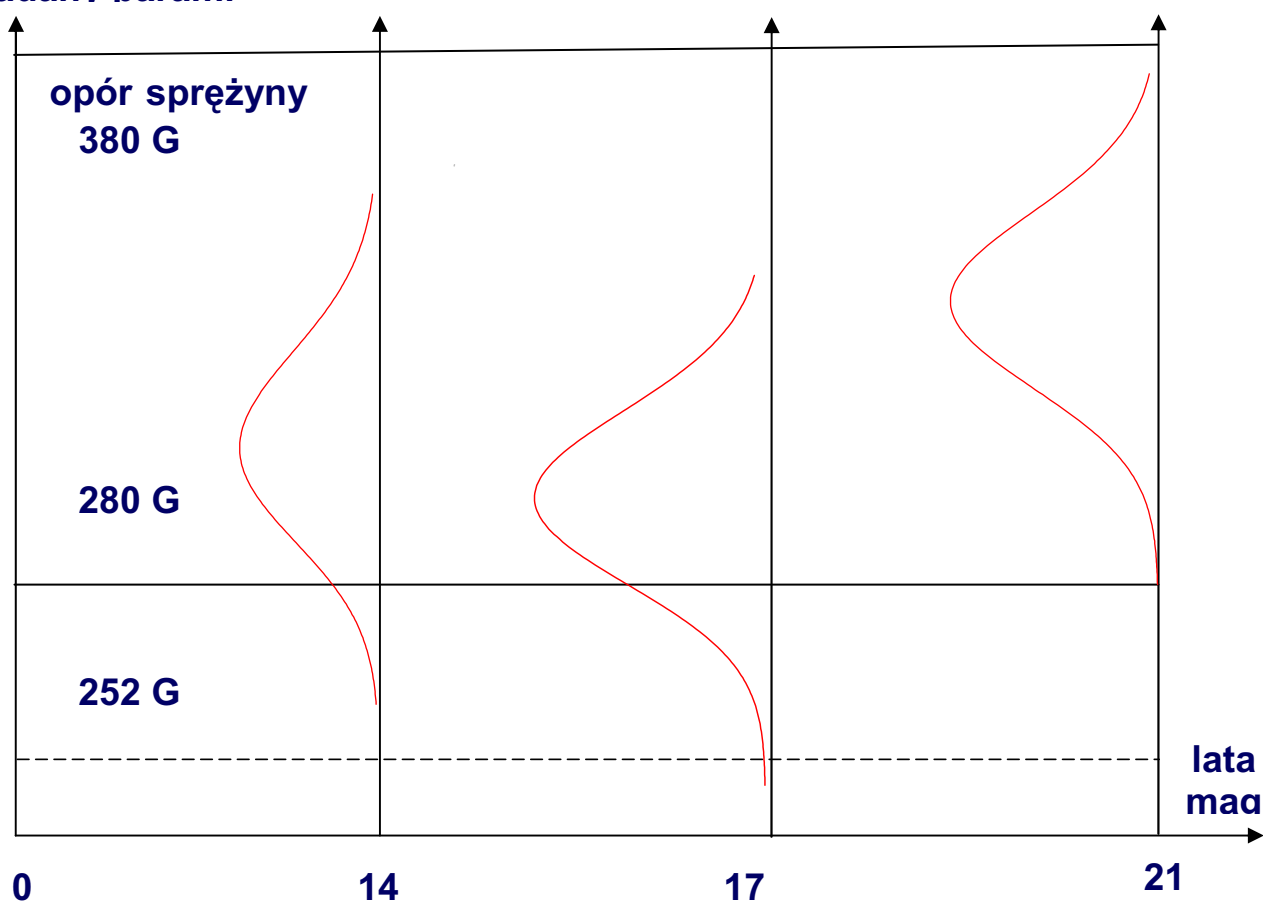
Rys. 6 Rozkład gamma badanego parametru zapalnika po 17 latach magazynowania



Rys. 7 Rozkład gamma badanego parametru zapalnika po 21 latach magazynowania



## Badany param.



Rys. 8 Zestawienie rozkładów gamma badanego parametru zapalnika

## 5. Wnioski

Uzyskane wyniki badań wszystkich badanych parametrów elementów, pozwalają na sporządzenie wykresów rozkładów prawdopodobieństwa badanych cech oraz pozwalają na sporządzenie zestawów rozkładów prawdopodobieństwa, które to zestawy uwidaczniają nam obraz jakości lub obraz starzenia się danego badanego rozpatrywanego elementu na przestrzeni czasu magazynowania. Przykłady takich zestawień dla rozkładu normalnego przedstawia rysunek 4 natomiast dla dwuparametrowego rozkładu gamma przedstawia rysunek 8. Zestawienia te dają obraz zużycia parametrów w czasie czyli pozwalają wyznaczyć trajektorię stanu jakości wybranych parametrów badanych bloków amunicji.

## Literatura

- [ 1 ] Dariusz Ampuła – Parametryczny system oceny magazynowanej amunicji – Rozprawa doktorska - Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych Warszawa 2006 r.