

## **BADANIA PROGNOSTYCZNE RAKIET PRZECIWLOTNICZYCH – METODOLOGIA I UWARUNKOWANIA**

*W artykule przedstawiono metodologię badań prognostycznych rakiet przeciwlotniczych średniego zasięgu. Zaprezentowano wybrane wyniki badań.*

### **1. Wstęp**

Zasadniczym celem badań prognostycznych jest uzyskanie niezbędnych informacji o aktualnym stanie technicznym ocenianej populacji rakiet i ich zespołów oraz opracowanie prognozy dotyczącej warunków dalszej bezpiecznej eksploatacji. Potrzeba prowadzenia badań prognostycznych wynika z kończącego się okresu normatywnego eksploatacji, ustalonego przez producenta.

Założone cele badań mogą być osiągnięte poprzez:

- określenie wpływu procesów naturalnego starzenia na użytkowanie i funkcjonowanie rakiet z wydzieleniem zespołów i podzespołów podlegających tym procesom w obserwowalny sposób;
- badania wybranych zespołów elektronicznych i mechanicznych oraz elementów łańcucha pirotechnicznego i ładunków kruszących w warunkach symulacji przyspieszonego starzenia;
- analizę dokumentacji eksploatacyjnej rakiet z uwzględnieniem warunków składowania oraz wniosków o najczęściej występujących niesprawnościach;
- określenie możliwości i warunków dalszej eksploatacji z uwzględnieniem zużycia resursów technicznych;
- określenie zakresu dodatkowych sprawdzeń i ewentualnej regulacji aparatury pokładowej;
- określenie metod i zakresu prac przy przedłużaniu okresu przydatności technicznej w warunkach jednostki wojskowej u zleceniodawcy.

### **2. Metody i sposób przeprowadzenia badań**

#### **2.1. Wybór próbki do badań niszczących**

Wybór próbki do badań niszczących dokonuje zleceniodawca przy udziale specjalistów z WITU, według kryteriów określonych w metodykach i programach badań. W próbce wytypowanych do badań rakiet powinny się znajdować rakiety sprawne technicznie (50%) i niesprawne technicznie ale w pełnym ukompletowaniu. Podczas demontażu rakiet niesprawnych powinno się dążyć do określenia przyczyn niesprawności (nie zawsze to jest jednak możliwe), co będzie przydatne do określenia „słabych ogniw”. Zagadnienie liczebności próbki wraz z składami omówiono w punkcie 5.

#### **2. 2. Ocena stanu technicznego badanej populacji rakiet na podstawie doświadczenia ekspertów**

Oceny stanu technicznego badanej populacji rakiet dokonuje się na podstawie:

- analizy informacji o przebiegu dotychczasowej eksploatacji uzyskanych od użytkownika;
- określenia słabych ogniw oraz ich weryfikacji w oparciu o przedmiot badań;
- określenia oddziaływania procesu eksploatacji na stan techniczny rakiet i racjonalną gospodarkę ich zasobami;

## 2.3. Przegląd stanu technicznego

### 2.3.1. Techniczny przegląd zewnętrzny

Techniczny przegląd zewnętrzny przesłanej do badań próbki rakiet wykonuje się przed demontażem oraz po demontażu na zespoły funkcjonalne. Przegląd ten powinien zapewnić wykrycie wad i uszkodzeń mechanicznych ujawnionych w czasie eksploatacji i winien obejmować:

- sprawdzenie hermetyczności zespołów;
- sprawdzenie połączeń mechanicznych poszczególnych zespołów.

Przeglądowi poddaje się połączenia międzyprzedziałowe oraz następujące zespoły:

- zbiorniki powietrza;
- elementy układu pneumatycznego;
- gniazda pironaboi;
- elementy kadłuba z pokryciem i usterzeniem.

### 2.3.2. Przegląd stanu technicznego aparatury pokładowej

Przeglądowi i badaniom podlega aparatura pokładowa z rakiet sprawnych. W czasie przeglądu przeprowadza się sprawdzenia parametrów elektrycznych za pomocą stacji kontrolno-pomiarowej (KIPS lub AKIPS w zależności od typu rakiety).

Badania mają na celu określenie słabych „ogniw” mających wpływ na żywotność aparatury pokładowej i powinny polegać na dokonaniu przeglądu zewnętrznego aparatury i podstawowych podzespołów funkcjonalnych po demontażu.

Demontaż rakiet przeprowadza się według metodyk opracowanych w WITU, z zachowaniem zasad bezpieczeństwa określonych w instrukcjach eksploatacji.

Po demontażu na zespoły funkcjonalne przeprowadza się nieniszczące badania kompleksowe, symulacyjne oraz po przyspieszonym starzeniu. Badaniom takim powinny być poddane następujące zespoły pozyskane po demontażu rakiet sprawnych:

- pilot automatyczny;
- aparatura radiosterowania i radiośledzenia;
- radiozapalnik;
- zbiorniki kuliste sprężonego powietrza (metodą emisji akustycznej);
- czujniki ciśnienia;
- źródła zasilania (turbogeneratory, transformatory, prostowniki, układy komutacji);
- elementy sieci elektrycznej w tym:
  - mechanizm zabezpieczająco-wykonawczy (MZW) oraz jego elementy pirotechniczne
  - pironaboje zbiorników kulistych;
  - pironaboje układu napędowego;
  - sieć pirotechniczna.

Zespoły pozyskane po demontażu rakiet niesprawnych należy ocenić pod kątem ich sprawności oraz ustalenia przyczyn niewłaściwego działania.

Badania należy prowadzić według szczegółowych procedur (metodyk) opracowanych dla poszczególnych zespołów funkcjonalnych.

### 2.3.3. Badania zespołów funkcjonalnych uzyskanych z raket sprawnych, w warunkach intensywnych wymuszeń klimatycznych

Celem tych badań jest nasilenie procesów starzeniowych poprzez symulowanie intensywnych wymuszeń klimatycznych a tym samym starzenie aparatury pokładowej umożliwiające wyróżnienie najbardziej zawodnych podzespołów i elementów. Badaniom tym poddawane są następujące zespoły:

- pilot automatyczny;
- aparatura radiosterowania i radiośledzenia;
- radiozapalnik;
- czujniki ciśnienia;
- źródła zasilania (turbogeneratory, transformatory, prostowniki, układy komutacji);

W celu wypracowania danych do prognozy stanu technicznego wybrane zespoły poddaje się intensywnym oddziaływaniom czynników klimatycznych takich jak: temperatura, ciśnienie i wilgotność. Cykl wymuszeń klimatycznych przedstawiono w tabeli 1.

Czas działania		Rodzaj wymuszenia			Uwagi
Doba	godzina	Temperatura [°C]	Wilgotność względna [%]	Ciśnienie [hPa]	
30		+50	80	1000	Włączenie ogrzewania na czas 10-12 godz. w każdej dobie badań
30		-50	80		Obniżenie temperatury na czas 10-12 g w każdej dobie badań
30	10-12	Temp. otoczenia	80		W zakresie dodatnim: 0 ÷ +20°C

Proces badań uwzględnia kontrolę stanu technicznego po cyklu wymuszeń klimatycznych.



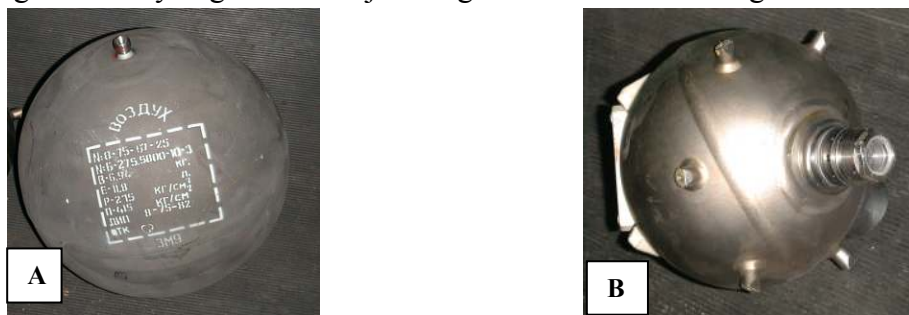
**Komora klimatyczna do badań zespołów raket w warunkach intensywnego oddziaływania czynników klimatycznych.**

### 2.3.4. Badania wytrzymałościowe

Badaniom wytrzymałościowym poddaje się te zespoły pozyskane z demontażu wszystkich badanych rakiet, które mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo eksploatacji i niezawodność działania. Do takich zespołów należą:

- zbiorniki powietrza;
- zespoły i instalacje pneumatyczne;
- reduktory.

Badania zbiorników kulistych sprężonego powietrza prowadzi się metodami emisji akustycznej zgodnie z wymaganiami Wojskowego Dozoru Technicznego zbiorników.



**Zbiorniki kuliste sprężonego powietrza Rakiet typu KUB (A) i OSA (B).**

Na podstawie pomiarów wykonuje się niezbędne obliczenia określające wytrzymałość zbiorników. Niezależnie od tego przeprowadza się badania wytrzymałości na maksymalne ciśnienie poprzez napełnianie zbiorników wodą pod ciśnieniem maksymalnym rzędu 40 MPa.

#### 2.3.5. Identyfikacja materiałów konstrukcyjnych

Po pobraniu (wycięciu) próbek dokonuje się identyfikacji materiałów konstrukcyjnych korpusu wyrobu (płatowca) i jego opierzenia, a następnie przeprowadza się próby wytrzymałościowe i metalograficzne. Dokonuje się także oceny stanu pokryć antykorozyjnych.

#### 2.3.6. Badania właściwości zespołu napędowego

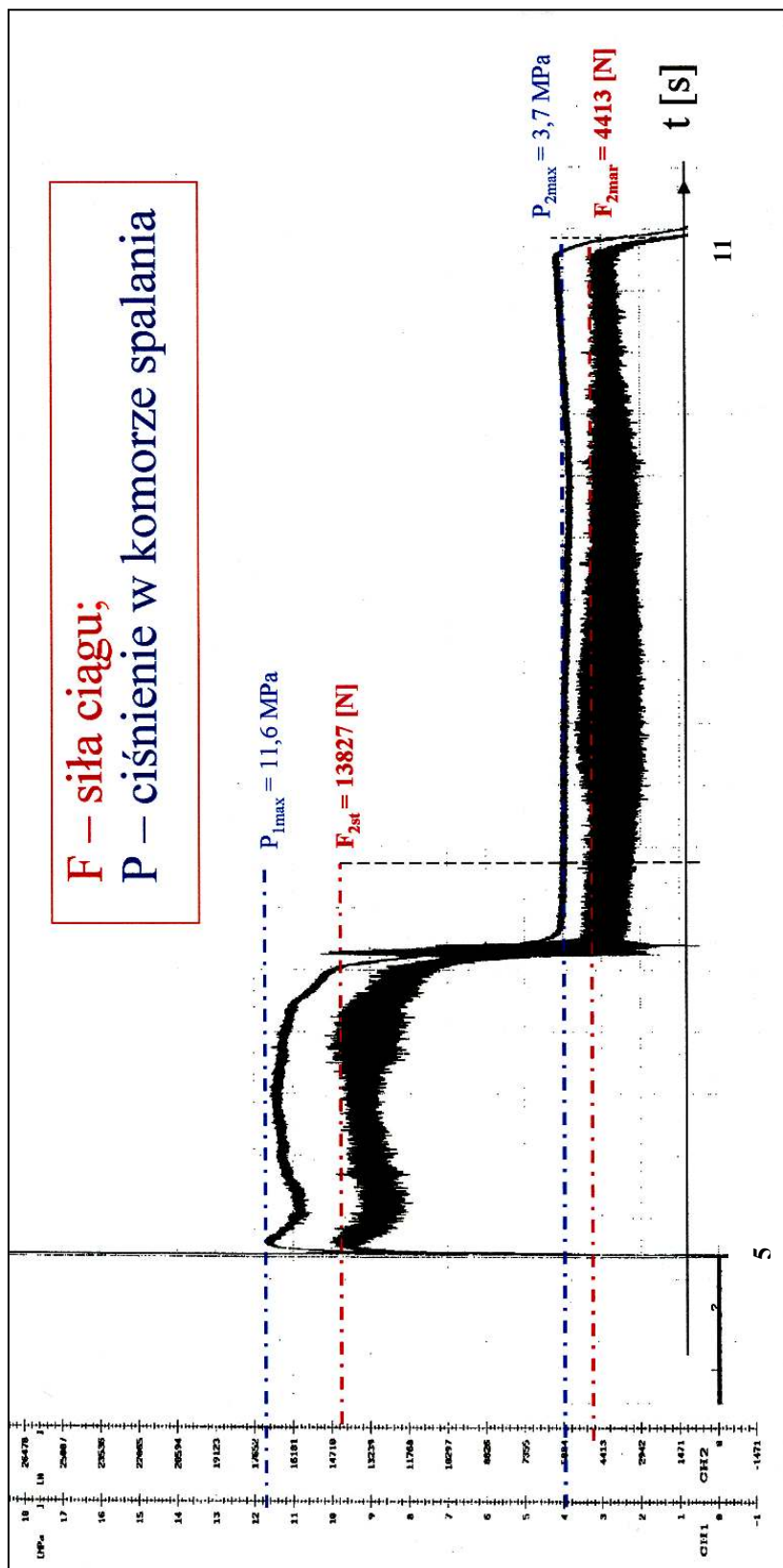
Przedziały silników (marszowych i startowych) z rakiet sprawnych technicznie przeznaczają się do badań siły ciągu na hamowni pionowej – jeden po termostatowaniu w temp.  $+50^{\circ}\text{C}$  (w czasie 30 dób), drugi w warunkach ujemnej temperatury otoczenia możliwej do uzyskania w Polsce (najczęściej jest to temperatura  $-10^{\circ}\text{C}$ ).



**Zespół napędowy rakiety OSA na hamowni pionowej: 1-przed odpaleniem.  
2-podczas pracy zespołu.**

Odpalenie ładunku silnika startowego i marszowego należy przeprowadzać się na hamowni pionowej dokonując pomiarów i rejestracji zmian wartości siły ciągu i ciśnienia w czasie.

Dokonuje się także oceny stabilności przebiegu procesu spalania, wartości maksymalnych siły ciągu silnika startowego i marszowego oraz porównania z danymi uzyskanymi w czasie badań tego typu raket.



Przykładowe wyniki badań zespołu napędowego rakiety OSA

### 3. Badania fizykochemiczne ładunków prochowych zespołu napędowego, ładunku bojowego i elementów pirotechnicznych

Badaniom fizykochemicznym poddaje się materiały wysokoenergetyczne pochodzące z rakiet niesprawnych. Dla wszystkich elementów przeprowadza się badania przed oraz po poddaniu ich przyspieszonemu starzeniu w ciągu 50. cykli starzeniowych w warunkach zmienno-temperaturowych ( $-50^{\circ}\text{C} \div +50^{\circ}\text{C}$ ). Po zakończeniu badań porównuje się wyniki badań próbek przed i po starzeniu.

#### 3.1. Ładunek prochowy zespołu napędowego

Badaniom fizykochemicznym poddaje się dwa ładunki silnika startowego i marszowego uzyskane z demontażu rakiet niesprawnych.

Zakres badań obejmuje:

- przegląd techniczny z wykorzystaniem endoskopii;
- oznaczenie trwałości chemicznej;
- oznaczenie szybkości spalania;
- oznaczenie zawartości składników lotnych wg BN-60/MPCh – 18/7;
- oznaczenie wrażliwości na uderzenia metodą Kasta wg BN-65/6091 – 18;
- oznaczenie wrażliwości na tarcie metodą Koenena wg BN-77/6091-07
- oznaczenie stałości paliwa w temperaturze  $+75^{\circ}\text{C}$  wg BN-79/6091-10;
- określenie wilgotności wg GOST-8065-56.



**Pęknięcia paliwa raketowego wykryte za pomocą endoskopu**

#### 3.2. Głowica bojowa

Badaniom poddaje się materiał kruszący z głowic bojowych uzyskanych po demontażu rakiet. Zakres badań powinien obejmować:

- przegląd techniczny,
- określenie gęstości materiału metodą hydrostatyczną,
- określenie zdolności do wykonania pracy wg BN65/6091 - 14,
- określenie części nierozpuszczalnych w benzenie i acetonie,
- oznaczenie wrażliwości na uderzenia metodą Kasta wg BN65/6091- 18,
- oznaczenie wrażliwości na tarcie metodą Koenena wg BN-77/6091-07,
- określenie szybkości detonacji.

### **3.3. Elementy pirotechniczne MZW**

Badaniom poddaje się pobudzacze i spłonki uzyskane po demontażu mechanizmów zabezpieczających rakiet. Przy czym 50% z pozyskanych elementów przeznaczają się do oznaczeń fizykochemicznych (dla tetrylu z pobudzacza należy określić temperaturę krzepnięcia, zawartość wody, kwasowość i gęstość ładunku). Pozostałe 50% przeznaczają się do badań funkcjonalnych.

Na wstępie dokonuje się oceny ich stanu technicznego, po czym przeprowadza się badania w następujących zakresach:

- spłonki i pobudzacze poddaje się badaniom hermetyczności;
- pobudzacze poddaje się próbom wrażliwości na pobudzenie oraz na skuteczność działania;
- spłonki bada się na niezawodność i skuteczność działania zgodnie z WT dla tego typu spłonek (katalog urządzeń i przyrządów stosowanych w diagnostyce amunicji – Indeks N-519);

### **3.4. Pironaboje**

Badaniom poddaje się wszystkie pironaboje uzyskane z demontażu rakiet. Z przeznaczonych do badań pironabojów 50% poddać należy próbie przyspieszonego starzenia (50 cykli starzeniowych), a następnie próbie na hermetyczność (moczenie w wodzie w czasie 4. godz.). Pozostałe 50% bada się w warunkach normalnych – tj. bez starzenia i bez prób hermetyczności.

Przeprowadza się pomiary parametrów elektrycznych mających wpływ na bezpieczeństwo i niezawodność działania;

- wartości rezystancji;
- prądu zadziałania;
- prądu bezpiecznego (150 mA / 5min.)

### **3.5. Podsypka prochowa (zapłonnik)**

Do badań przeznaczają się zapłonnik uzyskane po demontażu dwóch niesprawnych rakiet. 50% zapłonników poddaje się badaniom przyspieszonego starzenia (50 cykli starzeniowych) a następnie badaniom hermetyczności poprzez moczenie w wodzie w czasie 4. godz.

Po rozelaborowaniu wszystkich zapłonników dokonuje się pomiaru wilgotności prochu czarnego (określa się zawartość wody) oraz przeprowadza się niezbędne próby w celu określenia jego wrażliwości na zapalenie się od lontu.

Po badaniach należy dokonuje się porównania uzyskanych wyników dla zapłonników po cyklach starzenia i hermetyczności z wynikami uzyskanymi dla zapłonników nie poddawanych starzeniu.

## **4. Analiza informacji statystycznej**

Przedmiotem analiz są informacje wprowadzone do komputerowej bazy danych uzyskane od zlecniodawcy dotyczące:

- warunków przechowywania;
- wykorzystania resursów technicznych;
- charakterystycznych uszkodzeń;
- warunków transportu (odległość i środki transportu);
- wyników strzelań rakiet z badanej populacji.

W wyniku przeprowadzonych analiz dokonana zostanie weryfikacja i uogólnienie informacji oraz zostanie przeprowadzona obróbka uzyskanych danych w celu wyznaczenia wskaźników niezawodnościowych.

## 5. Ekonomiczna licznosc próbki

Ekonomicznie uzasadnione jest, że dla badanej i ocenianej partii (ocenianej populacji) złożonych z drogich wyrobów należy zwiększyć prawdopodobieństwo przyjęcia partii dobrej i odrzucenia partii złej. Stąd wynika, że licznosc próbki powinna zależeć od tego co ryzykuje się przy pomyłce, a więc od wartości partii, a także od kosztów badania sztuki.

Zagadnienie to rozwiązał *N. Steinhaus*, opracowując metodę zwaną wyceną statystyczną. Ustalił on zależność pomiędzy licznoscią próbki, a wartością partii i kosztem badania sztuki według wzoru:

$$n = \left( \sqrt[3]{\frac{N \cdot d}{5 \cdot k}} \right)^2$$

gdzie:  $n$  – licznosc próbki,  $N$  – licznosc partii (populacji),  $k$  – koszt badania sztuki,  $d$  – różnica między wartością najlepszej i najgorszej sztuki

Ponieważ w naszym przypadku wartość najgorszej sztuki wynosi „0” to  $d$  oznacza wartość jednego wyrobu (w kategorii I.)

Otrzymane  $n$  jest maksymalną licznoscią próbki potrzebną do oszacowania wartości partii. Pobranie liczniejszej próbki nie ma ekonomicznego uzasadnienia, natomiast licznosc  $\frac{1}{2} \cdot n$  jest minimalną licznoscią próbki na podstawie której można sklasyfikować badaną populację.

### Przykłady praktyczne

Przykład 1: dla badań rakiet 9M32M

Dane: Licznosc partii ocenianej  $N = 300$ , wartość jednej szt. : 16 000 USD  
koszt badania 1 szt.:  $k = 45\,000$  USD.

Obliczona według powyższego wzoru wartość  $n = 10,89$ ,  
po zaokrągleniu przyjmuje się:  $n=10$

W praktyce, ze względu na stosowane procedury badawcze i program badań jest to ilość niezbędna i wystarczająca do oceny partii, celem przedłużenia okresu przydatności technicznej, jednakże pod warunkiem że stosowane w wyrobach materiały wysokoenergetyczne są z tej samej partii produkcyjnej.

Dla partii liczniejszych wymaganą, obliczoną wg kryterium Steinhausa licznosc próbki podano w tabeli 2.

**Tabela 2**

<i>Lp</i>	<i>N -licznosc partii (badanej populacji)</i>	<i>n- wymagana licznosc próbki</i>	<i>Uwagi</i>
1	500	10	Warunek: materiały wysokoenergetyczne z tych samych partii produkcyjnych
2	1000	15	
3	1500	20	
4	2000	25	



## Przykład 2: dla badań wyrobów 3M9ME

Dane: Liczność partii ocenianej  $N = 100$ , wartość jednej szt. : 216 000 USD  
koszt badania 1 szt.:  $k = 87\ 000$  USD.

Obliczona według powyższego wzoru wartość  $n = 2,89$ ,  
po zaokrągleniu przyjmuje się:  $n = 3$

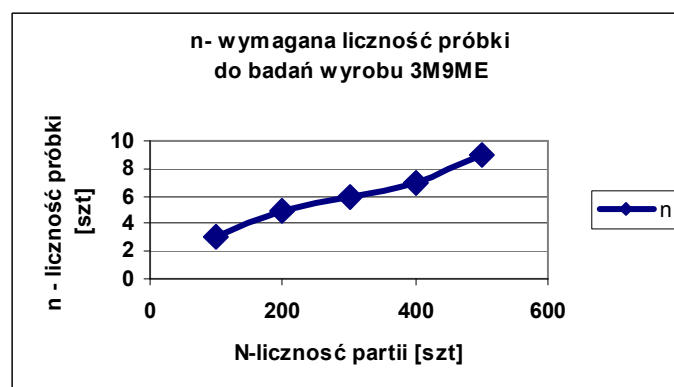
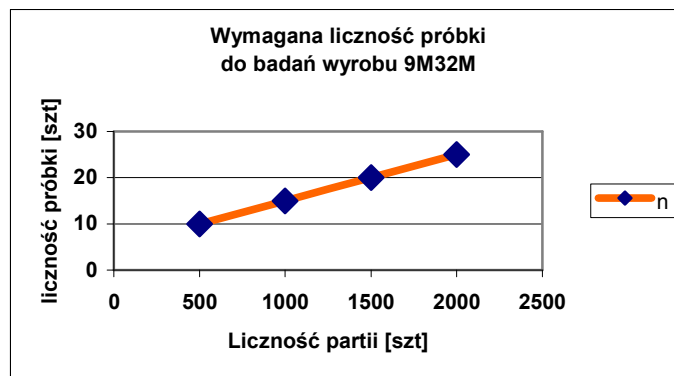
W praktyce, ze względu na stosowane procedury badawcze i programy badań (w tym badań fizykochemicznych z przyspieszonym starzeniem oraz badań aparatury pokładowej w warunkach ekstremalnych temperatur) jest to ilość niezbędna i wystarczająca do oceny partii, celem przedłużenia okresu przydatności technicznej. Warunkiem podstawowym jest jednak zastosowanie w wyrobach materiałów wysokoenergetycznych z tych samych partii produkcyjnych, bądź co najmniej z jednego roku produkcji.

Dla partii liczniejszych wymaganą, obliczoną wg kryterium Steinhausa liczność próbek podano w tabeli 3.

**Tabela 3**

<i>Lp</i>	<i>N</i> -liczność partii (badanej populacji)	<i>n</i> - wymagana liczność próbek	<i>Uwagi</i>
1	100	3	Warunek: materiały wysokoenergetyczne z tych samych partii produkcyjnych
2	200	5	
3	300	6	
4	400	7	

Wartości liczności próbek dla rakiet 9M32M i 3M9M obliczone przy podanych założeniach przedstawiono na wykresach poniżej.



## **6. Wnioski**

Plany restrukturyzacyjne WP zakładają utrzymanie w eksploatacji posiadanych zestawów raketowych poza rok 2012. Wydłużenie eksploatacji o 12 – 15 lat wiąże się m.in. z kolejnymi przedłużeniami okresów eksploatacji rakiet poza okres gwarantowany przez producenta. Przedłużenie okresu eksploatacji rakiet powinno być poprzedzone przeprowadzeniem cyklu badań umożliwiających zdiagnozowanie aktualnego stanu technicznego rakiet oraz określeniem zapasu normatywów i prognozowaniem dalszej ich eksploatacji.

Wyniki badań prognostycznych mogą być podstawą do podjęcia decyzji o przedłużeniu okresów eksploatacji rakiet.