

*mgr Paweł Szura*

Zakład Metod Ilościowych, Wydział Ekonomii  
Uniwersytet Rzeszowski

## **Awaryjność sprzętu komputerowego w gospodarstwach domowych w województwie podkarpackim**

### WPROWADZENIE<sup>1</sup>

Realizując grant badawczy NN 114190837: *Określenie wewnątrzregionalnego zróżnicowania poziomu rozwoju społeczeństwa informacyjnego* udało się pozyskać istotne dane na temat sprzętu ICT znajdującego się w gospodarstwach domowych, jak również interesujące dane na temat potencjalnych przyczyn zawodności sprzętu komputerowego w tych gospodarstwach. Przedstawione zagadnienie wnosi ważne informacje ilościowe związane nie tylko ze ścisłymi zagadnieniami technicznymi (dla dziedzin informatyki czy elektroniki), ale dostarcza praktycznej wiedzy istotnej dla tematyki zarządzania systemami informatycznymi w dowolnych organizacjach w kontekście bezpieczeństwa i zarządzania ryzykiem funkcjonowania tych systemów<sup>2</sup>. Przedstawione wyniki stanowią uzupełnienie do badań nad ryzykiem związanym z niezawodnością systemów informatycznych, realizowanych przez autora w organizacjach.

### POPULACJA SPRZĘTU W GOSPODARSTWACH DOMOWYCH

W badaniu stwierdzono, że 3670 gospodarstw domowych dysponowało 5912 jednostkami komputerowymi w różnym wieku, przy czym 303 gospodarstwa nie posiadały żadnego komputera. Pomimo to uzyskano wysoki średni wynik – 1,61 komputera w statystycznym gospodarstwie<sup>3</sup>.

---

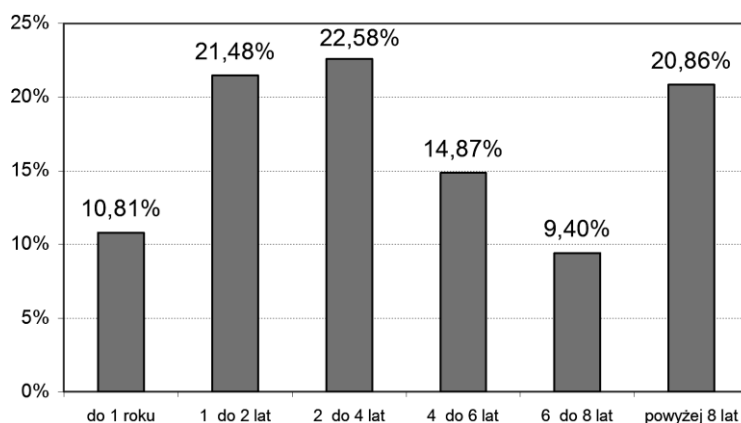
<sup>1</sup> Publikacja zrealizowana w ramach grantu NN 114190837: *Określenie wewnątrzregionalnego zróżnicowania poziomu rozwoju społeczeństwa informacyjnego*

<sup>2</sup> P. Szura, *Porównanie kosztów i efektywności wybranych metod zapewnienia niezawodności systemów informatycznych* [w] *Spółczeństwo informacyjne : stan i kierunki rozwoju w świetle uwarunkowań regionalnych*, red. C.F. Hales, Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów 2008; P. Szura, *Basic methods of projects' management that incorporates risk analysis* [w] *The information society: development perspectives*, red. C.F. Hales, Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów 2008; Sosnowski J.: *Testowanie i niezawodność systemów komputerowych*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2005.

<sup>3</sup> Na podstawie pytania G8 ankiety: *Ile komputerów/laptopów użytkuje się w Pana(i) gospodarstwie domowym w poszczególnych grupach wiekowych sprzętu? do 1 roku ...szt.; 1 do 2 lat ...szt.; 2 do 4 lat ...szt.; 4 do 6 lat ...szt.; 6 do 8 lat ....szt.; >8 lat ...szt.*

Uzyskaną w badaniu strukturę wiekową populacji jednostek komputerowych przedstawiono na rys. 1. Z racji dość znacznej próby przedstawione oszacowania frakcyjne są dość dokładne – obciążone błędem maksymalnym z zakresu +/- 0,79% do 1,09% (95% połówkowy przedział ufności<sup>4</sup>).

W rozkładzie dominują jednostki komputerowe w wieku 2–4 lata, stanowiąc około 23% populacji. Pomijalnie mniejsza jest grupa sprzętu 1–2-letniego (21%), przy czym szerokość tego przedziału jest dwa razy mniejsza – równa jeden rok – dlatego ten przedział należy uznać za przedział zawierający dominantę populacji badanej<sup>5</sup>. Sprzęt do 1 roku stanowi około 11% populacji użytkowanych w gospodarstwach domowych jednostek komputerowych – sprzęt do 2 lat stanowi więc nieco ponad 32% populacji. Łącznie zaś sprzęt do 4 lat stanowi około 55% populacji. Znaczny odsetek (~ 21%) w rozkładzie przypada na ostatni przedział wiekowy *powyżej 8 lat* – tak dużą wartość wytłumaczyć można domniemaną znaczną szerokością tego przedziału.



**Rys. 1. Rozkład wieku populacji sprzętu komputerowego w gospodarstwach domowych**

Źródło: opracowanie własne na podstawie pytania G8 ankiety.

Ostatni przedział jest jednostronnie otwarty i można założyć, że znajdują się tu również jednostki kilkunastoletnie. Przykładowo przyjmując realnie, że zawiera on jednostki w wieku 8–14 lat, otrzymujemy szerokość tego przedziału równą 6 lat – jest on więc trzy razy szerszy od sąsiednich przedziałów zamkniętych. Nie oznacza to więc, że mamy do czynienia z rzeczywistą populacją o charakterze dwumodalnym, a uzyskany obraz ostatniego przedziału jest jedy-

<sup>4</sup> M. Sobczyk, *Statystyka*, wyd. 5 uzupełnione, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.

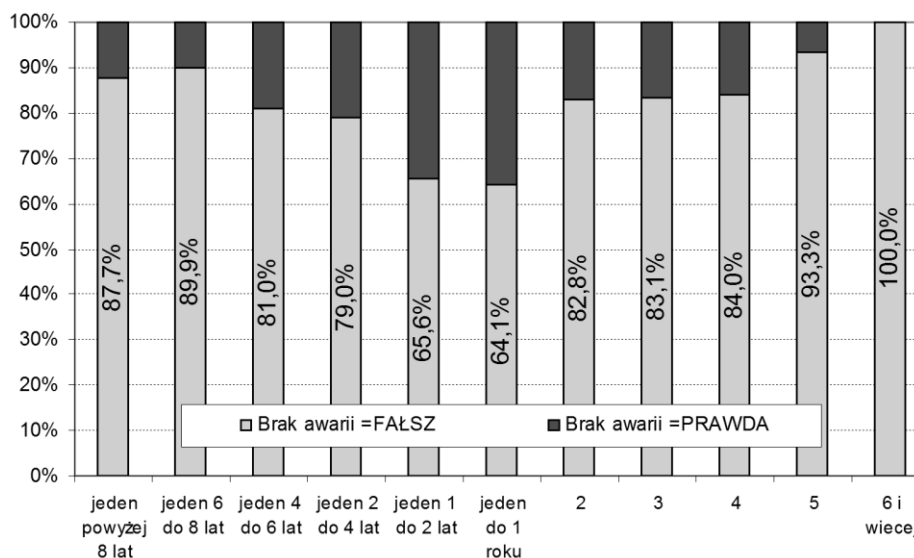
<sup>5</sup> Oszacowanie wartości liczbowej dominanty wieku sprzętu możliwe było tylko przy pewnych dodatkowych założeniach z racji różnych rozpiętości przedziałów w szeregu, szacunek jej wartości wynosi 1,54 roku (~18,47 miesiąca).

nie efektem kumulacji wynikłym z przyjętej w pomiarze skali – rozstępów przedziałów.

Przyjmując za wartość środkową najwyższej otwartej klasy *powyżej 8 lat* wartość 10 (świadome założenie, pomimo jej szacowanego rozstępu z racji przewidywanej skośności) otrzymujemy średni szacowany wiek jednostek komputerowych  $I_{sr}=4,54$  roku ( $\sim 55$  miesięcy)<sup>6</sup>.

### AWARIE SPRZĘTU W GOSPODARSTWACH DOMOWYCH

Interesująca jest również analiza tendencji występujących w rozkładzie zależności opinii o występowaniu awarii u respondentów od wieku użytkowanego sprzętu komputerowego jak i liczby użytkowanych jednostek<sup>7</sup>. Zbiorczo wyniki zobrazowano na kombinowanym wykresie (rys. 2) które omówiono poniżej.



**Rys. 2. Prawdopodobieństwo awarii w funkcji wieku sprzętu i ilości użytkowanych jednostek komputerowych**

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ankietowych.

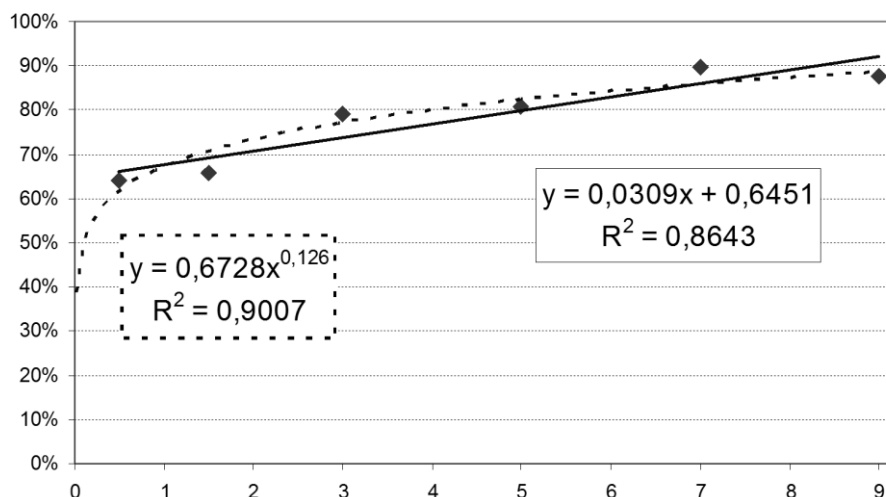
Jak wynika z badań, respondenci posiadający wyłącznie 1 jednostkę komputerową twierdzili, że awarie zdarzają się w najmniejszym stopniu ( $\sim 64\%$ ) wów-

<sup>6</sup> Wszystkie obliczenia uwzględniają średnią długość roku (uwzględniając lata przestępne) – tzw. rok juliański 365,2422 dnia.

<sup>7</sup> Zestawienie informacji z bazy badania: wiek i liczba sprzętu (na podstawie pytania G8 ankiety) oraz informacji o awarii (na podstawie pytania G14 lub G15).

czas gdy posiadana jednostka jest nie starsza niż 1 rok. Wraz z faktem posiadania coraz starszych generacji sprzętu procent użytkowników, których dotknęła zawodność sprzętu wzrasta do wartości 88–90%. Wzrasta również odsetek użytkowników dotkniętych awaryjnością sprzętu wraz ze wzrostem liczby użytkowanych posiadanych jednostek komputerowych w gospodarstwie domowym. Stąd użytkownicy 2–3 komputerów w około 83% dotknięci byli awariami, odsetek ten wzrasta gwałtownie w przypadku użytkowników 5 jednostek do 93%; natomiast wszyscy użytkownicy 6 i więcej jednostek w naszym badaniu twierdzili, że zetknęli się z problemem wystąpienia awarii (100%).

Jakkolwiek w oparciu o posiadane dane nie da się stworzyć dokładnego modelu prawdopodobieństwa z wieloma zmiennymi (liczba jednostek i ich wiek), to jednak można pokusić się o przydatne modele z jedną zmienną. Takie oszacowania i modele choć obarczone znacznymi błędami stanowią wystarczająco dobre modele interpretacyjne rzeczywistych zjawisk niezawodnościowych.



**Rys. 3. Prawdopodobieństwa awarii (*Brak awarii = FAŁSZ*) w funkcji wieku jednostki komputerowej (dla  $n=1$  jednostka). Aproksymacja prostymi modelami funkcji regresji**

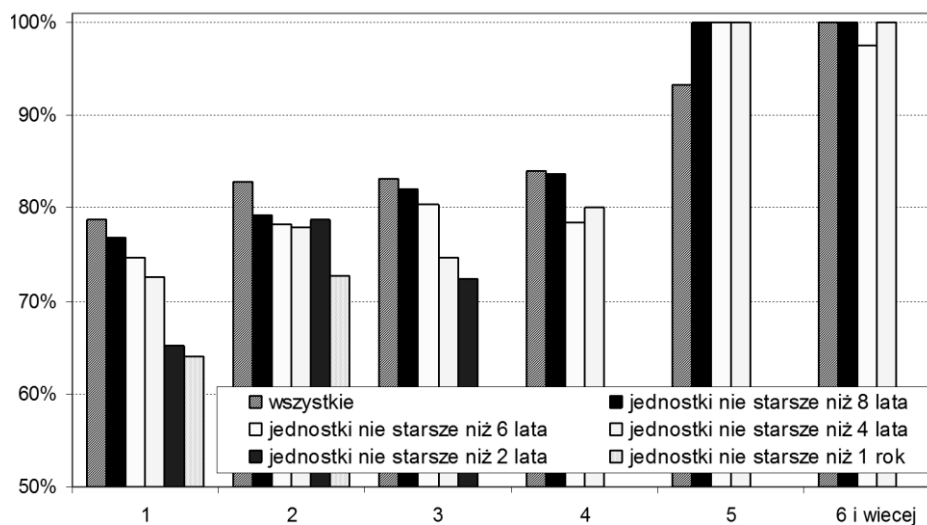
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ankietowych.

Obserwując wstępnie przedstawione wyniki (rys. 2) określające empirycznie zmierzone prawdopodobieństwo awarii zauważyć można, że wartości ryzyka w grupie *do 1 roku* (64,1%) są zbliżone do tych w grupie *1 do 2 lat* (65,6%), co wskazywałoby na bardzo małą zależność prawdopodobieństwa awarii od wieku dla sprzętu stosunkowo nowego (stad mniejszy i wolno rosnący poziom prawdopodobieństwa awarii w początkowym okresie eksploatacji).

Rysunek 3 przedstawia próby modelowania prawdopodobieństwa faktu awarii komputera w funkcji wieku sprzętu (dla 1 jednostki komputerowej). Uży-

skany aproksymowany model liniowy  $y=0,0309x+0,6451$  ze współczynnikiem determinacji  $R^2=86,4\%$  należy uznać za dość dobry. Można z niego przykładowo wnioskować, że prawdopodobieństwo awarii wzrasta o  $a=3,09\%$  wraz z użytkowaniem jednostki o kolejny rok. Użytkownik, który dopiero rozpoczął proces eksploatacji nowej jednostki komputerowej obarczony zaś jest  $b=64,51\%$  ryzykiem awarii, zaś w przypadku jednostki rocznej jego wartość wynosi  $(a+b)=67,6\%$ .

Z prostych modeli nieco lepszy od modelu liniowego okazuje się model aproksymacji prawdopodobieństwa awarii funkcją potęgową (ze współczynnikiem determinacji  $R^2=90,1\%$ ) o postaci  $y=0,6728x^{0,126}$ . Pomimo, że taki model jest mniej praktyczny do szybkiej interpretacji, to zapewnia spełnienie (w przeciwieństwie do poprzedniego modelu) warunku brzegowego dla punktu  $t=0 \Leftrightarrow y=F_{(0)}=0$ ; gdyż z reguły przyjmuje się, że prawdopodobieństwo awarii dla całkowicie nowego sprzętu musi być zerowe w punkcie początkowym. Obydwa uproszczone modele nie zapewniają również koniecznego charakteru zbieżności asymptotycznej; rzeczywiste modele niezawodnościowe cechują się bowiem dla  $t \rightarrow \infty$  zbieżnością do wartości 1.



**Rys. 4. Prawdopodobieństwa awarii w funkcji liczby jednostek w gospodarstwie w podgrupach z ograniczeniami wieku sprzętu**

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ankietowych.

Na wykresie słupkowym (rys. 4) zobrazowano uzyskane (metodą odfiltrowania) zależności ryzyka awarii od liczby użytkowanych jednostek w podgrupach z ograniczeniem wiekowym. Na podstawie zgromadzonego zbioru danych można modelować zależność poziomu ryzyka również w funkcji liczby użytko-

wanych jednostek – ryzyko zmaterializowane rozumiane jest tu jako awaria jakiegokolwiek jednostki komputerowej.

Należy pamiętać, że źródłem powyższych danych jest wywiad z ankietowanymi, dlatego należy traktować je jako przybliżone w definiowaniu pewnych zjawisk, trendów i ich siły. Powyższymi analizami nie jesteśmy w stanie zastąpić trudnych, długotrwałych rzeczywistych badań nad populacjami konkretnych generacji sprzętu. Jednocześnie opinia respondenta może być również nie do końca związana bezpośrednio ze sprzętem, który definiuje jako aktualnie użytkowany w gospodarstwie domowym. Może być ona również efektem wcześniejszych doświadczeń własnych bądź opinią zaczerpniętą z zewnątrz. Tym niemniej uzyskane dane potwierdzają podstawowe prawa związane z eksploatacją techniczną systemów komputerowych.

#### PRZYCZYNY NIESPRAWNOŚCI

Tabela 1 zawiera uzyskane w badaniu przyczyny awarii<sup>8</sup> posortowane według istotności, dodatkowo zobrazowano je na rys. 5. Dominującą przyczyną awarii (niesprawności) są problemy softwarowe spowodowane niestabilnym funkcjonowaniem systemu aplikacji lub sterowników – stanowią około 32% niesprawności. Problemy te mogą wynikać z rzeczywistych niedociągnięć (np.: niedostateczne testowanie) na etapie budowy kodu aplikacji, co powoduje, że pewne błędy materializują się wyłącznie w pewnych konfiguracjach sprzętowo-aplikacyjnych. Zagadnienia związane z błędami oprogramowania opisane są szczegółowo w podanej literaturze<sup>9</sup>.

Najczęstsze znane przyczyny to konflikt *bibliotek*, błędne wpisy w rejestrze systemowym, wadliwe sterowniki. Równocześnie pewne kategorie błędów powstają na skutek niewłaściwych zdarzeń eksploatacyjnych (którym potencjalnie można przeciwdziałać), a w szczególności:

- przerwy w zasilaniu sprzętu (zewnętrzne),
- wymuszone twarde restarty sprzętu,
- wymuszone (anormalne) kończenie pracy aplikacji bądź sterowników.

Powodują one najczęściej korygowalne błędy w systemie plików. W skrajnych sytuacjach powyższe zdarzenia mogą mieć jednak charakter katastroficzny z punktu widzenia możliwości ponownego stabilnego uruchomienia systemu – zwłaszcza gdy zaistniały w obliczu trwających operacji zapisu w systemie plików (krytycznie dotyczące obszaru systemowego, np. podczas instalacji/aktua-

<sup>8</sup> Na podstawie pytania G15 ankiety: *Jeśli awarie sprzętu miały miejsce to jakie są przyczyny ostatniej (...źródło niesprawności)?*, po odfiltrowaniu odpowiedzi „nie wiem” oraz „brak awarii”.

<sup>9</sup> J. Sosnowski, *Testowanie i niezawodność...*, B. Wiszniewski, B. Bereza-Jarociński, *Teoria i praktyka testowania programów*, Mikom, Warszawa 2006; M. Howard, D. LeBlanc, *Bezpieczny kod. Tworzenie i zastosowanie*, Microsoft Press, APN PROMISE, Warszawa 2002.

lizacji aplikacji, czy zmian w rejestrze systemu). Najłagodniejszym i najczęstszym ich skutkiem jest pozostawienie nieusuniętych plików tymczasowych powodujących *balagan* i ciągły przyrost zajętego obszaru wykorzystywanej pamięci masowej. Należy zaznaczyć, że potencjalną przyczyną awarii zaliczanych do tej kategorii mogą być również rzadkie, przypadkowe i *niekorygowalne* w trybie automatycznym błędy magnetycznych pamięci masowych, które mogą jednak nasilać się wraz z czasem, jak też potęgują się wobec zaistnienia pewnych wpływów środowiskowych (wysoka temperatura, zewnętrzne pola magnetyczne).

**Tabela 1. Ranking przyczyn niesprawności – z prawdopodobieństwem występowania określonym przez ankietowanych**

Lp	Przedmiot awarii	Rozkład odpowiedzi
1	system/ sterownik/ aplikacje	32,29%
2	zasilacz	18,52%
3	dysk twardy	16,63%
4	uszkodzenie mechaniczne	14,88%
5	karta graficzna	13,58%
6	płyta główna	9,68%
7	złośliwy kod	8,19%
8	procesor	7,54%
9	pamięć RAM	7,15%
10	inne	1,82%

Źródło: opracowanie własne na podstawie pytania G15 ankiety.

Drugą pozycję (pierwszą, jeśli chodzi o kategorie sprzętowe) stanowią awarie systemu zasilania jednostek komputerowych, pn. *zasilacz* – 18,52% ogółu wszystkich przyczyn. Moduł zasilacza jest miejscem, gdzie dokonuje się największa (w sensie wielkości) wymiana energii (przetwornica), a w związku z tym narażony jest na oddziaływanie (pomimo wysokich sprawności) znacznej ilości energii termicznej. Ponadto to moduł zasilacza ma bezpośredni kontakt z zagrożeniami środowiskowymi przenoszonymi się przez sieć energetyczną (przebiecia – udary burzowe, eksploatacyjne wahania – „skoki” napięcia w sieci, zakłócenia). Przedstawione czynniki powodują, że pomimo znacznych, podawanych przez producentów wartości MTBF<sup>10</sup> – typowo około 50 tys h<sup>11</sup>, ulega on awarii znacznie szybciej.

Kolejną pozycję zajmują awarie związane z nośnikami magnetycznymi – kategoria *dysk twardy* – 16,63%. Wspomniane w pozycji pierwszej błędy zapisu na nośnikach magnetycznych mogą z czasem przyjąć charakter permanentnej awarii, zwłaszcza wówczas, gdy dotyczą obszarów startowych nośnika. Wbu-

<sup>10</sup> MTBF – ang. *Mean Time Between Failures*, średni czas między awariami.

<sup>11</sup> P. Metzger P, *Anatomia PC*, wydanie XI, Helion, Gliwice 2007, s. 1068.

dowane mechanizmy korekcji (*ECC*, *Bad Sector Mapping*, *Sector-Slipping*)<sup>12</sup> z czasem mogą również zawodzić – masowość błędów powoduje wówczas dyskwalifikację takiego nośnika.

Ponadto dyski twarde są mechanizmami bardzo wrażliwymi na występowanie nadmiernych wartości zewnętrznych przyspieszeń – upadki, udary (oddziaływania zewnętrzne o charakterze mechanicznym). Mogą one doprowadzić do znacznych spustoszeń w sytuacji, gdy pracuje dysk. Wykonująca jedynie ruch kątowy głowica oddzielona jest od wirującego z olbrzymią szybkością talerza (4000 – 20 000 [obr/min]) jedynie niewielką przestrzenią powstałej laminarnej poduszki powietrznej – nawet niewielkie siły zewnętrzne mogą doprowadzić do wychylenia głowicy i kontaktu z powierzchnią talerza. Pomimo niewielkiej masy głowicy w układzie (głowica – talerz) występuje znaczny moment pędu (*kręt*), a więc również niepomijalna energia. W związku z tym, w sytuacji działania zewnętrznych sił może dojść do znacznego zniszczenia warstwy nośnika magnetycznego (ponadto zapylenie powierzchni talerza) – powodując niekiedy trwałe uszkodzenie takiego napędu<sup>13</sup>.

Znaczne nadzieje na całkowite wyeliminowanie tego typu wad wiążąc można z dalszą popularnością dysków elektronicznych SSD<sup>14</sup>, które obok głównej swej zalety – znacznej szybkości – nie wykazują przede wszystkim podatności i wad delikatnych konstrukcji wirujących. Pomimo to, cechują się jednak skończoną – niepomijalną liczbą cykli zapisu – co wynika głównie z racji miniaturyzacji komórek pamięci (*Flash/ Nand Flash*). Są to niestety rozwiązania nadal znacznie droższe – stosowane na niezbyt dużą skalę jako dedykowane pamięci wirtualne oraz jako nośniki systemowe.

Kolejna 4. pozycja prezentowanego rankingu przyczyn awarii to *uszkodzenia mechaniczne* – 14,88%. Ta pojemna kategoria grupuje w sobie przypadkowe lub celowe oddziaływanie sił zewnętrznych (przyspieszenia, udary, drgania) na pewne elementy jednostki komputerowej, powodując destrukcje o charakterze mechanicznym. Kategoria ta w specyficzny sposób odnosić się może do komputerów mobilnych zbudowanych częstokroć z dość nietrwałych materiałów (np. tworzywa sztuczne), gdzie zaistnienie jej może doprowadzić do trwałego uszkodzenia urządzenia (przełamanie, uszkodzenie matrycy, etc). W przypadku jednostek stacjonarnych może powodować awarie typu: pęknięcia ścieżek obwodów drukowanych, pęknięcia lutowań, wyłamania gniazd zewnętrznych, uszkodzenia i zacięcia wyłączników, awarie mechanicznych systemów chłodzących – wentylatorów. Udary, drgania mechaniczne mogą być też zewnętrzną bezpośrednią przyczyną uszkodzeń napędów – pamięci magnetycznych i innych elementów (płyta główna, procesor itp.).

<sup>12</sup> *Ibidem*, s. 398–401.

<sup>13</sup> T. Bilski, *Pamięć – nośniki i systemy przechowywania danych*, WNT, Warszawa 2008, s. 433–434.

<sup>14</sup> SSD – ang. *Solid-State Drive*.



Pozycja 5. rankingu przyczyn awarii to uszkodzenia zdefiniowane ogólnikowo jako *karta graficzna* – 13,58%. Podsystem graficzny komputerów PC stanowi osobny *subsystem* z dedykowanymi procesorami graficznymi (i układem pamięci) o znacznej skali integracji/scalenia (mierzonej liczbą bramek logicznych, czy tranzystorów) – przekraczających częstokroć o rząd wielkości stopień integracji głównego procesora w jednostce. Szczególną przyczyną narażenia jest tu wydatkowanie znacznej ilości ciepła, co przy nawet drobnych defektach systemu chłodzenia (awarie, zabrudzenia, ...) może doprowadzić do trwałego zniszczenia tego rozbudowanego podsystemu.

Pozycja 6. rankingu wskazuje na uszkodzenia  *płyty głównej* z częstością 9,68% – elementu stanowiącego bazową platformę<sup>15</sup> łączącą wszystkie elementy systemu komputerowego. Najczęstsze przyczyny uszkodzeń tego komponentu to uszkodzenia termiczne obwodów: szczególnie *mostków*, które są również układami VLSI<sup>16</sup> – (na skutek niesprawności systemów chłodzenia przez np.: zabrudzenia, odklejenie radiatorów bądź awarie chłodzących wentylatorów). Często przyczyną ich awarii są również uszkodzenia systemów zasilania procesora (przetwornice wielotaktowe – uszkodzenia kluczy przełączających, jak też powszechnie usterki polegające na utracie parametrów kondensatorów elektrolitycznych – spadek pojemności, wzrost upływności (co może skutkować niestabilnością pracy i cyklicznymi „restartami” jednostki). Ponadto częstą przyczyną niesprawności mogą tu być oddziaływania mechaniczne, do których należy zaliczyć drgania (mogące powodować pęknięcia lutowań lub połączeń) oraz wyłamania (zwłaszcza uszkodzenia gniazd i złączy znajdujących się na krawędziach i powierzchni płyty głównej).

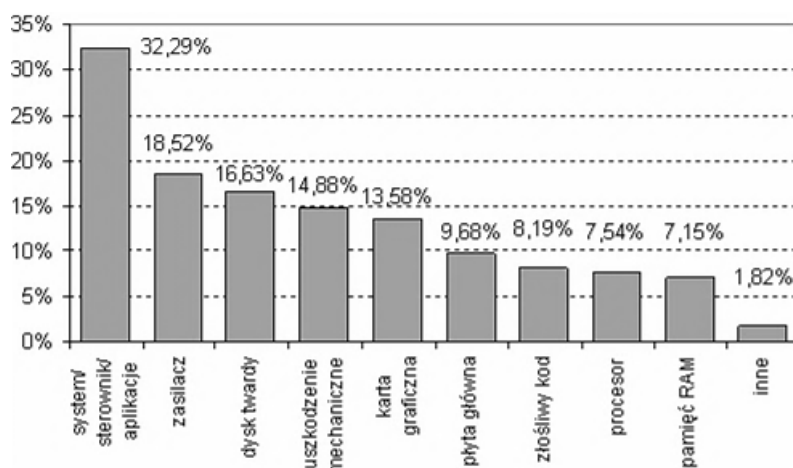
Pozycja 7. rankingu przyczyn uszkodzeń określona jako *złośliwy kod* – 8,19% dotyczy ogółu zagrożeń softwarowych/ ataków związanych z propagacją kodu kategorii *malware*. Do najpoważniejszych efektów działania tego typu kodu w systemie operacyjnym zaliczyć można: drastyczny spadek wydajności, zablokowanie dostępu do sieci, destabilizacja działania systemu operacyjnego, wyciek danych, w skrajnym przypadku uszkodzenia danych na nośniku (przy czym wiele z tych efektów może występować łącznie). Jest to zagrożenie (podobnie jak pozycja pierwsza) należące do kategorii softwarowej. To również zagrożenia o charakterze środowiskowym (propagują się w sieciach komputerowych), ponadto ich rozprzestrzenianie i występowanie należy postrzegać w kategorii przestępstwa.

Zagrożeniom tej kategorii można zapobiegać, zarówno w aspekcie przeciwdziałania skutkom, jak i w sensie uniemożliwienia dalszej ich propagacji – poprzez stosowanie odpowiedniego oprogramowania zabezpieczającego („antyvirusowe” pakiety zabezpieczające, *firewalle*, skanery – monitory sieci, aplikacje

<sup>15</sup> Ang. *motherboard, mainboard*.

<sup>16</sup> VLSI – ang. *Very Large Scale of Integration*, układy wielkiej skali integracji.

typu „*antyspyware*”, etc.). Istotna tu jest również postawa użytkownika rozumiana jako świadomość zagrożeń wraz z odpowiednią kulturą pracy.



**Rys. 5. Przyczyny niesprawności  
– ranking według prawdopodobieństwa**

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych.

Kolejne dwie kategorie zagrożeń o podobnym prawdopodobieństwie występowania to: *procesor* – 7,54% i *pamięć RAM* – 7,15%. Przyczyną uszkodzeń procesora poza awariami typowo mechanicznymi (wykruszenia, pęknięcia – możliwe na skutek ingerencji mechanicznych, jak i drgań) są najczęściej przegrzania związane z niesprawnością systemu chłodzenia.

Jest to szczególnie istotne, gdyż niewielka struktura procesora musi odprowadzić w aktualnych konstrukcjach moc cieplną rzędu kilkudziesięciu do nawet ponad stu watów. Jeśli chodzi o moduły pamięci operacyjnej (RAM), to ze względu na technikę wykonania są one szczególnie narażone na zagrożenie związane z przypadkowym przeniesieniem ładunku elektrostatycznego – ESD<sup>17</sup>. Poza awariami samoistnymi jest to najczęstsza zewnętrzna przyczyna uszkodzeń tych modułów.

Częstą przyczyną wspomnianych awarii termicznych procesorów (CPU) mogą być niewłaściwe – zbyt wysokie poziomy napięć zasilających, co może być spowodowane nieprawidłowym działaniem systemu zasilacza lub elementów stabilizujących na płycie głównej, błędami konfiguracji – jak też skutkiem świadomych zabiegów związanych z równoczesnym *przetaktowaniem*<sup>18</sup> procesora<sup>19</sup>. Inną częstą przyczyną awarii termicznych (przegrzania) CPU, jak też

<sup>17</sup> ESD – ang. *ElectroStatic Discharge*.

<sup>18</sup> Ang. *overclocking*, przekraczanie zakresu przewidzianej częstotliwości taktowania układu.

<sup>19</sup> P. Metzger, *Anatomia PC*, wydanie XI, Helion, Gliwice 2007, s. 1109–1110, s. 53.

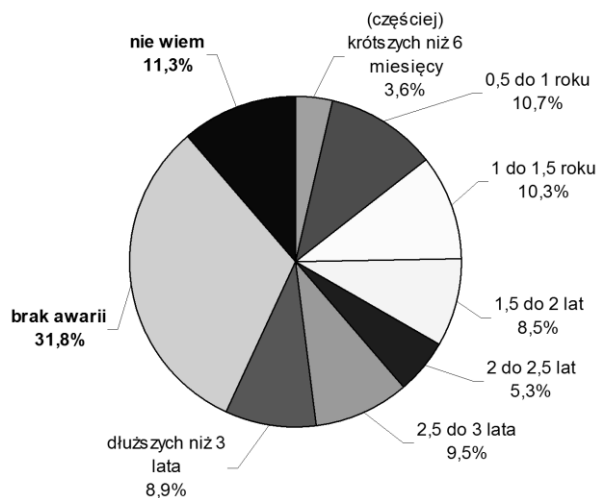
wielu innych komponentów są awarie mechaniczne systemów chłodzenia – rozpraszania ciepła (wentylatorów, radiatorów biernych<sup>20</sup>).

W ankiecie pozostawiono również możliwość wskazania potencjalnie innych przyczyn niesprawności systemu komputerowego, kategoria *Inne* – 1,82%, z dalszą możliwością szerszego opisu w formie tekstowej przypadku awarii. Po analizie i grupowaniu tych uwag respondentów możemy tu wskazać w szczególności kolejno na:

- problemy/ niesprawność łącza z siecią (dostawcą usług internetowych),
- awarie monitorów komputerowych,
- wyładowania atmosferyczne (aczkolwiek jest to przyczyna pierwotna, a nie skutek uszkodzenia),
- niesprawności baterii (komputery przenośne),
- uszkodzenia modemów/ kart sieciowych.

### CZĘSTOŚĆ AWARII

Rozkład bezpośrednich odpowiedzi dotyczących pytania o częstotliwość awarii sprzętu komputerowego zobrażowano na wykresie kołowym (rys. 6)<sup>21</sup>.



**Rys. 6. Częstotliwość awarii – bezpośredni rozkład odpowiedzi w ankietowanych gospodarstwach**

Źródło: opracowanie własne na podstawie pytania G14 ankiety.

<sup>20</sup> To także zjawisko migracji przewodzącej ciepło pasty silikonowej następujące wraz z upływem czasu na skutek wystąpienia nadmiernych drgań.

<sup>21</sup> Pytanie G14 ankiety: *W jakich odstępach czasu zdarzają się w gospodarstwie domowym awarie sprzętu komputerowego (jak też oprogramowania), uniemożliwiające jego prawidłowe funkcjonowanie?*

Rozkład interesujących nas wartości po odfiltrowaniu kategorii *nie wiem* oraz *brak awarii* w zależności od typu miejsca lokalizacji gospodarstwa przedstawiono w tabeli 2 i zobrazowano na rysunku 7.

**Tabela 2. Zależność długości okresu między awariami (częstość awarii) od lokalizacji gospodarstwa**

Miejsce położenia gospodarstwa / Częstość awarii (odstęp czasu)	Wieś	Miasta do 5 tys.	Miasta od 5 do 20 tys.	Miasta powyżej 20 tys.	Średnia
(częściej) odstępy krótsze niż 6 miesięcy	7,3%	7,1%	3,0%	4,5%	6,4%
0,5 do 1 roku	20,0%	17,5%	15,1%	16,2%	18,8%
1 do 1,5 roku	18,1%	24,6%	15,5%	18,2%	18,2%
1,5 do 2 lat	14,0%	17,5%	15,1%	20,2%	15,0%
2 do 2,5 lat	9,1%	9,5%	11,4%	8,1%	9,4%
2,5 do 3 lat	16,1%	15,1%	19,6%	18,2%	16,7%
(rzadziej) odstępy dłuższe niż 3 lata	15,4%	8,7%	20,3%	14,6%	15,6%
	100%	100%	100%	100%	100%

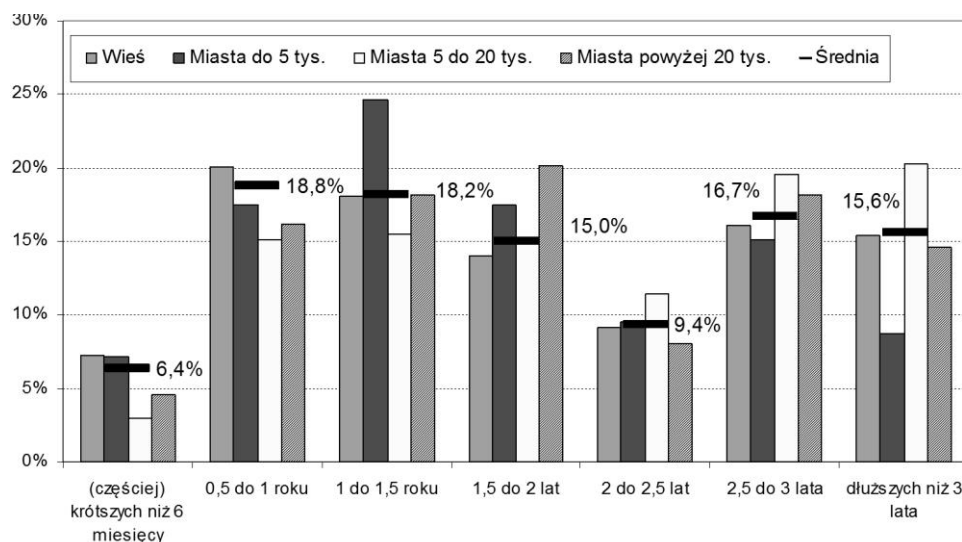
Źródło: opracowanie własne.

Dominują awarie (tabela 2) w odstępach *0,5 do 1 roku* stanowiąc 18,8% wszystkich przypadków awarii. Zbliżona wartość odsetka głosów respondentów przypada na przedział *1 do 1,5 roku* – 18,2% przypadków awarii. Rozkład nie posiada cech rozkładu jednomodalnego, kolejno notowany istotny przedział to *2,5 do 3 lat* z udziałem 16,7%. Przedstawione średnie wartości frakcji obciążone są (dla 95% poziomu ufności) błędem połówkowym z zakresu +/- 1,09% do 1,74%.

Oszacowana na podstawie powyższego szeregu przedziałowego wartość dominanty<sup>22</sup> interwału pomiędzy awariami wynosi 0,976 roku (356,55 dnia), co przy założeniu średniego 5-godzinnego użytkowania w domostwach oznacza szacunkową wartość dominującego (najbardziej prawdopodobnego) interwału awarii w okolicach 1783 godziny pracy.

Przedstawione w tabeli dane obrazują zależność częstotliwości awarii od typu miejsca lokalizacji gospodarstwa. Obrazowo w miejscowościach małych (wsiach) widzimy większą częstotliwość awarii tzn. dominują krótkie odstępy między awariami. Natomiast w miejscowościach dużych tendencja ta się odwraca. Tendencję tę analizowano i potwierdzono statystycznie: wartość statystyki testowej (Chi-kwadrat)  $\chi^2_{Stat}=32,17$  jest większa od wartości krytycznej  $\chi^2_{Kryt}=28,86$  (dla ogólnie przyjętego progu prawdopodobieństwa 5%) – stąd hipotezę o niezależności należy odrzucić. Zależność ta jest jednak niezbyt mocna – wartość skorygowanego współczynnika kontyngencji *C* Pearsona wynosi:  $C_{kor}=0,1428$ .

<sup>22</sup> M. Sobczyk, *Statystyka*, wyd. 5 uzupełnione, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008, s. 42.



**Rys. 7. Deklarowane okresy między awariami z uwzględnieniem lokalizacji gospodarstwa**

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych.

Przyczyny tej nieco większej częstości awarii w obszarach mniej zurbanizowanych można by upatrywać w wielu aspektach: np. w statystycznie gorszych warunkach lokalowych na wsiach w wielu domostwach (wahania temperatury, wilgotność) – co nie jest zapewne obojętne dla funkcjonowania w nich urządzeń elektronicznych, a w szczególności w przypadku sprzętu komputerowego. Jest to jedynie hipoteza wymagająca weryfikacji w dalszych badaniach.

Znacznie mocniejszym wytłumaczeniem powyższego stanu rzeczy są różnice w technologii realizacji sieci energetycznej pomiędzy obszarami wysoko zurbanizowanymi, a terenami wiejskimi i związana z tym podatność na ryzyko propagowania w sieci wyładowań atmosferycznych. Sieci energetyczne na terenach o mniejszym stopniu urbanizacji wykonywane są w obecnym stadium rozwoju cywilizacyjno-technicznego wciąż jako napowietrzne, natomiast w miastach (od już prawie kilkudziesięciu lat) stosowana jest i przeważa ziemna, kablowa sieć energetyczna częstokroć włącznie z odcinkami średniego, jak i wysokiego napięcia<sup>23</sup> (w dużych i bardzo dużych miastach). Taki sposób realizacji sieci energetycznej skutecznie uniemożliwia przeniknięcie do sieci wyładowania atmosferycznego.

Jak wiadomo – wyładowania burzowe i związane z tym udary przepięciowe są częstą przyczyną awarii sprzętu elektronicznego. Nie bez znaczenia może być

<sup>23</sup> Sieci wysokiego napięcia, najczęściej sieć realizowana jest w postaci sieci rurowej z izolacją gazów szlachetnych.

tu również fakt znacznie lepszej jakości dostaw energii elektrycznej w obszarach zurbanizowanych (miasta), rozumianej tu jako niskie prawdopodobieństwo zaniku napięcia sieciowego<sup>24</sup>.

Zaniki napięcia (w przypadku braku urządzeń klasy UPS<sup>25</sup>) mogą również skutkować utratą pewnych danych, jak też w szczególności uszkodzeniem obszaru systemu operacyjnego (jest to wówczas trwała niesprawność), co może mieć również odzwierciedlenie w danych statystycznych.

## MODELOWANIE ROZKŁADÓW NIEZAWODNOŚCI

Teoria eksploatacji posługuje się pojęciem intensywności uszkodzeń –  $\lambda$  – określającym prawdopodobieństwo awarii w jednostce czasu. Wartość intensywności w rzeczywistości jest najczęściej niestacjonarna – zależna od czasu, jednak mimo to w uproszczonych rozważaniach przyjmujemy jej stacjonarność i posługujemy się jej wartością średnią –  $\lambda_{sr}$ . Funkcja prawdopodobieństwa awarii przy założeniu takiego stałego poziomu narażenia ma wówczas z definicji charakter wykładniczy.

Dysponując przybliżonymi danymi o częstotliwościach awarii (pytanie G14 – tabela 2), przyjmując odpowiednie wartości średnie czasów sprawności oraz czyniąc pewne założenia można oszacować średni czas sprawności (sprawnej eksploatacji). Przyjmując dla grupy jednostek, które nigdy nie uległy awarii za maksymalną wartość *resursu*<sup>26</sup> wartość 12 lat, natomiast dla grupy określonej jako *powyżej 3 lat* – wartość średnią 4 lata – otrzymujemy średni okres sprawności 5,54 roku (66,5 miesiąca).

Porównując wartość szacowaną średniego okresu sprawności ze średnim wiekiem sprzętu w gospodarstwach widać, że ten pierwszy jest dłuższy o 11,5 miesiąca.

Z prostego oszacowania ilorazu tych wartości można wnioskować, że mniej niż 20% użytkowników domowych nie odnotowuje poważnych awarii w okresie użytkowania przez nich sprzętu komputerowego. Dzieje się tak głównie ze względu na fakt szybkiego wycofania sprzętu z użytkowania przez część użytkowników (odsprzedaż, złomowanie).

Przyjęto, że realny czas pracy jednostki komputerowej w gospodarstwie dla rodziny wieloosobowej mieści się w przedziale 4–6 h na dobę, a więc średnio 5 h. Stąd (tabela 3), dla założonej wartości (5 h) statystyczny średni czas spraw-

<sup>24</sup> Zasilanie zwartych skupisk mieszkańców (osiedli, bloków) z kilku sieciowych źródeł automatycznie konfigurowanych.

<sup>25</sup> Ang. *Uninterruptible Power Supply* – bezprzerwowe zasilacze awaryjne.

<sup>26</sup> *Resurs* – maksymalny przewidywany zasób pracy wyrażony najczęściej czasem eksploatacji.

ności to około  $\sim 10\,000$  h pracy, a więc średnia intensywność uszkodzeń  $\lambda_{sr} \sim 1 \cdot 10^{-4}$  [1/h]. Przy takich założeniach (model wykładniczy) prawdopodobieństwo awarii (funkcja awaryjności) opisane jest zależnością:  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ .

**Tabela 3. Obliczenia średnich czasów sprawności E(T) i intensywności uszkodzeń**

Średni czas bezawaryjnej pracy [lat]*	5,543		
Średni czas bezawaryjnej pracy [miesiące]*	66,517		
Założony średni dobowy czas pracy [h]	4	5	6
Średni czas bezawaryjnej pracy [h]	8098,48	10123,10	12147,72
Średnia intensywność uszkodzeń [1/h]	1,235E-04	9,878E-05	8,232E-05

\* – w obliczeniach przyjęto średnią długość roku tzw. rok juliański (365,2422 dnia)

Źródło: opracowanie własne na podstawie przedstawionych badań ankietowych.

Poszukiwanie i modelowanie intensywności uszkodzeń można również oprzeć na numerycznym dopasowaniu modelu prawdopodobieństwa awaryjności<sup>27</sup> do empirycznego rozkładu prawdopodobieństwa awarii wyrażonej przez użytkowników (przedstawionej wcześniej na rysunku 3). Na podstawie prób numerycznych optymalizacji (MNK<sup>28</sup>) uznano za odpowiedni charakter intensywności uszkodzeń właściwy dla rozkładu Weibulla.

Funkcja intensywność uszkodzeń przyjmuje wówczas postać:

$$\lambda_{(t)} = \lambda \cdot \alpha \cdot t^{\alpha-1}, \text{ z parametrami } \alpha = 0,2765, \lambda = 0,1419.$$

Dla rozkładu Weibulla funkcja awaryjności:  $F_{(t)} = 1 - e^{-\lambda \cdot t^\alpha}$ , natomiast oczekiwany czas zdatności:  $\mu = E(T) = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$ , co daje wartość  $\mu \cong 16\,000$  h pracy (1,6 razy większa od poprzedniego oszacowania na podstawie deklarowanej częstości awarii).

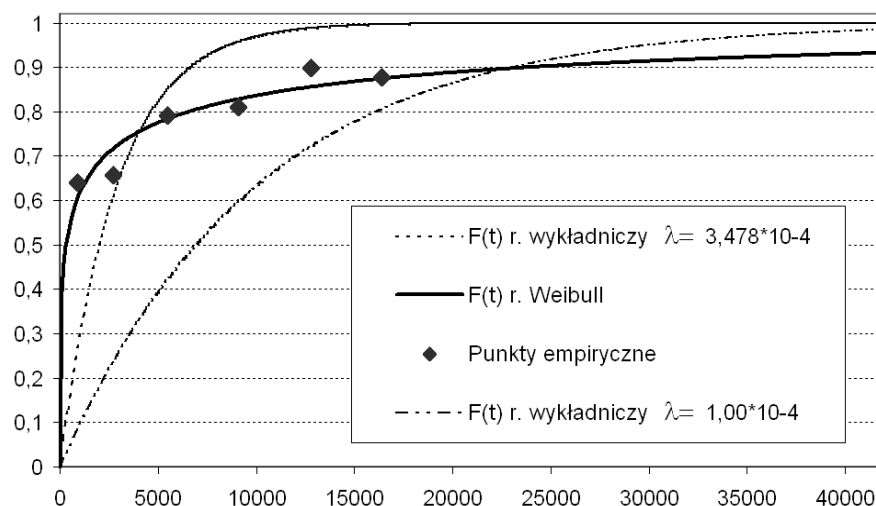
Wykresy na rysunku 8 obrazują: empiryczne punkty prawdopodobieństwa (zgodne z rysunkiem 3), uzyskany optymalny model awaryjności oparty o rozkład Weibulla oraz próby modelowania oparte o dwie krzywe wykładnicze dla parametrów:  $\lambda_1 = 1 \cdot 10^{-4}$  [1/h] (szacunek oparty o deklarowaną częstość awarii) oraz:  $\lambda_2 = 3,478 \cdot 10^{-4}$  [1/h] (próba numerycznego dopasowania rozkładu wykładniczego do punktów empirycznych).

Przedstawiony rys. ukazuje uniwersalność rozkładu Weibulla w odwzorowaniu rzeczywistych zjawisk niezawodnościowych. Jednocześnie obrazuje mankamenty uproszczonego modelowania niezawodności zakładające stałą war-

<sup>27</sup> D.L. Grosh, *A Primer of Reliability Theory*, John Wiley & Sons, USA 1989; F. Grabski, J. Jaźwiński, *Funkcje o losowych argumentach w zagadnieniach niezawodności, bezpieczeństwa i logistyki*, WKŁ, Warszawa 2009.

<sup>28</sup> Metoda najmniejszych kwadratów.

tością narażenia<sup>29</sup>. Przedstawione oszacowania i modele oparte są o dane z dwóch niezależnych pytań w naszym badaniu, a dostrzegalne różnice wynikają z przyjętych oszacowań i założeń. Dlatego należy uznać przedstawione modele za pewien skrajny obraz ryzyka przydatny w modelowaniu statystycznym zjawisk niezawodnościowych.



**Rys. 8. Funkcje awaryjności – skumulowane  
prawdopodobieństwo awarii w funkcji czasu (godziny)**

Źródło: opracowanie własne. Symulacja na podstawie przedstawionych badań.

## WNIOSKI

Przedmiotem badania był sprzęt – jednostki komputerowe w gospodarstwach domowych. Podstawowe założenie badawcze polegało na przyjęciu tezy, że sprzęt wykorzystywany w gospodarstwach domowych jest statystycznie podobny do sprzętu użytkowanego w organizacjach. Dzięki temu można przenosić pewne doświadczenia użytkowników indywidualnych do doświadczeń organizacji celem doskonalenia niezawodności pracujących w nich systemów informatycznych, a więc *mitygacji* tego źródła ryzyka.

Komputery klasy PC stanowią podstawowe ogniwa systemów informatycznych współczesnych organizacji i to właśnie ich zawodność (obok czynnika ludzkiego – błąd/ zaniedbania operatora) jest głównym elementem ryzyka związanego z tymi systemami<sup>30</sup>.

<sup>29</sup> Inaczej intensywność uszkodzeń.

<sup>30</sup> Zakładając, że zawodność serwerów w systemie jest wielokrotnie mniejsza (zob. P. Szura, *Porównanie kosztów...*).



Zaznaczyć należy, że pomimo mniejszego stopnia wiedzy technicznej (profesjonalizmu) użytkownicy indywidualni chętnie i bez oporów dzielą się swą wiedzą i doświadczeniami. Natomiast zebranie analogicznie dużej liczby danych (próby badawczej) w organizacjach jest zadaniem trudnym ze względu na powoływanie się pracowników na różne ograniczenia związane z poufnością danych/tajemnicą biznesową. Jednocześnie z doświadczenia autora (podejmowanie równoległych badań w organizacjach) wynika, że pionierzy informatyczne koncentrują się na działalności bieżącej – na ogół nie gromadzą i nie analizują danych historycznych (brak statystyk, jak i ich analiz) związanych z niezawodnością systemów informatycznych.

Na podstawie zebranych danych dokonano podstawowych szacunków koniecznych do modelowania/symulacji ryzyka w systemach informatycznych wykorzystujących komputery klasy PC. Oszacowano: rozkład wieku populacji sprzętu, wartość średnią okresów sprawności, dominującą częstość awarii, jak też prawdopodobieństwa konkretnych przyczyn awarii. Ponadto wykazano większą intensywność awarii (krótsze odstępy czasu między awariami) na obszarach wiejskich – przedstawiono statystyczną istotność zaobserwowanego zjawiska i jego siłę. Zwieńczeniem powyższego są przedstawione modele awaryjności.

Dysponując odpowiednimi modelami i oszacowaniami statystycznymi jesteśmy w stanie wdrożyć optymalną strategię związaną z występowaniem tej formy ryzyka w systemach informatycznych. Jednocześnie dysponując średnim obrazem zjawisk niezawodnościowych (opartym na znacznej próbie badawczej) możemy porównywać własne doświadczenia w tym zakresie (w ramach doświadczeń indywidualnych, jak i organizacyjnych). Taka ocena – porównanie rozkładów prawdopodobieństw, jak i intensywności – pozwala wydawać pewne sądy co do: poziomu ryzyka w organizacji, jakości technicznej sprzętu, poziomu narażeń środowiskowych czy poziomu fachowości personelu.

Dzięki powyższej analizie można więc formalizować, precyzować i wprowadzać stosowne reguły postępowania dotyczące minimalizacji ryzyka awarii w systemach informatycznych, zarówno w aspekcie sprzętowym, jak i bezpieczeństwa przetwarzanych zasobów informacji w organizacjach.

#### LITERATURA

- Bilski T., *Pamięć, nośniki i systemy przechowywania danych*, WNT, Warszawa 2008.  
Grabski F., Jaźwiński J., *Funkcje o losowych argumentach w zagadnieniach niezawodności, bezpieczeństwa i logistyki*, WKŁ, Warszawa 2009.  
Grosh D.L., *A Primer of Reliability Theory*, John Wiley & Sons, USA 1989.  
Howard M., LeBlanc D., *Bezpieczny kod. Tworzenie i zastosowanie*, Microsoft Press, APN PROMISE, Warszawa 2002.

- Metzger P., *Anatomia PC*, wydanie XI, Helion, Gliwice 2007.
- Sobczyk M., *Statystyka*, wyd. 5 uzupełnione, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
- Sosnowski J., *Testowanie i niezawodność systemów komputerowych*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2005.
- Szura P., *Basic methods of projects' management that incorporates risk analysis* [w:] *The information society: development perspectives*, red Hales C.F., Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów 2008.
- Szura P., *Porównanie kosztów i efektywności wybranych metod zapewnienia niezawodności systemów informatycznych* [w:] *Spółeczeństwo informacyjne : stan i kierunki rozwoju w świetle uwarunkowań regionalnych* / red. Hales C.F., Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów 2008.
- Wiszniewski B., Bereza-Jarociński B., *Teoria i praktyka testowania programów*, Mikom, Warszawa, 2006.

#### *Streszczenie*

Artykuł przedstawia uzyskane wyniki badań dotyczące problemu zawodności sprzętu komputerowego w gospodarstwach domowych. Zbadano strukturę wiekową sprzętu, przyczyny i częstość awarii. Na ich podstawie zbudowano przybliżone modele awaryjności. Wyniki te stanowią punkt odniesienia do znacznie trudniejszych badań rzeczywistych systemów bezpośrednio w organizacjach. Uzyskane wyniki przydatne są również w procesie modelowania ryzyka złożonych systemów informatycznych organizacji.

#### **Hardware defect in households in the region Podkarpacie**

#### *Summary*

The article presents the results of research concerning on the problem computer equipment failure in the household. Examined the age structure of the equipment, causes and incidence of failure. On the basis of approximate models built failure. These results provide a reference point for a much more difficult research real systems directly in organizations. The results are also useful in the risk modeling of complex information systems in organization.