



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

Krzysztof KOŁOWROCKI

**ASYMPTOTYCZNE PODEJŚCIE
DO ANALIZY NIEZAWODNOŚCI
SYSTEMÓW**



ASYMPTOTYCZNE PODEJŚCIE DO ANALIZY NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW

Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

Seria: BADANIA SYSTEMOWE
tom 27

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2001

Krzysztof KOŁOWROCKI

**ASYMPTOTYCZNE PODEJŚCIE
DO ANALIZY NIEZAWODNOŚCI
SYSTEMÓW**

Publikację opiniowali do druku:

Prof. dr hab. inż. Janusz Karpiński

Dr hab. inż. Józef Żurek

Publikacja współfinansowana przez
KOMITET BADAŃ NAUKOWYCH w ramach projektu
badawczego Nr 9 T12C 022 16 nt. "Graniczne funkcje
niezawodności dużych systemów wielostanowych oraz
ich zastosowania w zagadnieniach transportowych i wy-
trzymałościowych"

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN
Warszawa 2001

ISBN 83-85847-58-8

ISSN 0208-8029



Serie

44663

Bibl. podręczna

9. Bibliografia

- Anderson, C. W. (1970) Extreme value theory for a class of discrete distributions with applications to some stochastic processes. *Journal of Applied Probability*, **7**, 99-113.
- Barlow, R. E., Proschan, F. (1975) *Statistical Theory of Reliability and Life Testing. Probability models*. Holt Rinehart and Winston, Inc., New York.
- Barlow, R. E., Wu, A. S. (1978) Coherent systems with multistate components. *Mathematics of Operations Research*, **4**, 275-281.
- Barndorff-Nielsen, O. (1963) On the limit behaviour of extreme order statistics. *Annals of Mathematical Statistics*, **34**, 992-1002.
- Berman, S. M. (1962) Limiting distribution of the maximum term in sequences of dependent random variables. *Annals of Mathematical Statistics*, **33**, 894-908.
- Berman, S. M. (1964) Limit theorems for the maximum term in stationary sequences. *Annals of Mathematical Statistics*, **35**, 502-516.
- Block, H. W., Savitis, T. H. (1982) A decomposition for multistate monotone systems. *Journal of Applied Probability*, **19**, 391-402.
- Bobrowski, D. (1985) *Modele i metody matematyczne teorii niezawodności*. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa.
- Brandowski, A., Kołowrocki, K. (1979) Ocienka nadiożności bolszych sistem s pomoszczu asimptoticzeskich rozpriedielienij pozicjonnych statistik. *Proc. International Conference, Reliability and Exploitation of Computer Systems „Relcomex”*, Wrocław, 67-77.
- Certificate for steel wire rope. Casar Drahtseilwerk Saar BMBH, Kirkel, Germany 1996.

- Chernoff, H., Teicher, H. (1965) Limit distributions of the minimax of independent identically distributed random variables. *Proc. American Mathematical Society*, **116**, 474-491.
- Cichocki, A., Kurowicka, D., Milczek, B. (1998) On limit reliability functions of large systems. Chapter 12 in: *Statistical and Probabilistic Models in Reliability*, Birkhauser, Boston, 184-193.
- Cichocki, A. (2001) Limit reliability functions of some homogeneous regular series-parallel and parallel-series systems of higher order. *Applied Mathematics and Computation*, (to appear).
- Daniels, H. E. (1945) The statistical theory of the strength of bundles of threads. *J. Proc. Roy. Soc.*, **183**, 404-435.
- De Haan, L. (1970) *On regular variation and its application to the weak convergence of sample extremes*. Math. Centr. Tracts **32**, Mathematics Center, Amsterdam.
- Domsta, J., Kołowrocki, K. (1977) Badania rozkładów czasu zdatności dużych systemów. *Materiały Konferencji Naukowej „Cybernetyka w Gospodarce Morskiej”*, Sopot, 109-116.
- Domsta, J., Kołowrocki, K. (1978) Przykłady funkcji niezawodności dużych systemów. *Zeszyty Naukowe Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Gdańskiego, Matematyka*, **4**, 32-48.
- Dziubdziela, W. (1977) Rozkłady graniczne ekstremalnych statystyk pozycyjnych. *Matematyka Stosowana*, **9**, 45-71.
- El-Newehi, E., Proschan, F., Setchuraman, J. (1978) Multistate coherent systems. *Journal of Applied Probability*, **15**, 675-688.
- Fisher, R. A., Tippett, L. H. C. (1928) Limiting forms of the frequency distribution of the largest and smallest member of a sample. *Proc. Camb. Phil. Soc.*, **24**, 180-190.
- Frechet, M. (1927) Sur la loi de probabilité de l'écart maximum. *Ann. de la Soc. Polonaise de Math.*, **6**, 93-116.

- Galambos, J. (1975) Limit laws for mixtures with applications to asymptotic theory of extremes. *Z. Wahrscheinlichkeitstheorie Verw. Gebiete*, **32**, 197-207.
- Gniedenko, B. W. (1943) Sur la distribution limite du terme maximum d'une serie aleatoire. *Ann. of Math.*, **44**, 432-453.
- Grabski, F., Kołowrocki, K. (1999) Asymptotic reliability of multistate systems with semi-markov states of components. *Proc. International Conference ESREL'99*, Munich, Balkema, 317-322.
- Griffith, W. S. (1980) Multistate reliability models. *Journal of Applied Probability*, **17**, 735-744.
- Gumbel, E. J. (1935) Les valeurs extremes des distributions statistiques. *Ann. Inst. H. Poincare*, **4**, 115.
- Gumbel, E. J. (1962) *Statistics of extremes*. New York.
- Harlow, D. G., Phoenix, S. L. (1991) Approximations for the strength distribution and size effects in an idealised lattice model of material breakdown. *Journal of Mechanics and Physics of Solids*, **39**, 173-200.
- Harlow, D. G. (1997) Statistical properties of hybrid composites: asymptotic distributions for strain. *Reliability Engineering and System Safety*, **56**, 197-208.
- Harris, R. (1970) An application of extreme value theory to reliability theory. *Ann. Math. Statist.*, **41**, 1456-1465.
- Hudson, J. C., Kapur, K. C. (1983) Modules in coherent multistate systems. *IEEE Transactions on Reliability*, **32**, 183-185.
- Jaźwiński, J., Ważyńska-Fiok, K. (1990) *Niezawodność systemów technicznych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Jaźwiński, J., Ważyńska-Fiok, K. (1993) *Bezpieczeństwo systemów*. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa.

- Kaufman, L. M., Dugan, J. B., Johnson, B. W. (1999) Using statistics of the extremes for software reliability analysis. *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. **48**, No. **3**, 292-299.
- Kołowrocki, K. (1977) Graniczne funkcje niezawodności dużych systemów. *Materiały IV Krajowego Sympozium Eksploatacji Urządzeń Technicznych*, Katowice, 79-84.
- Kołowrocki, K. (1979) Zastosowanie granicznych rozkładów statystyk pozycyjnych do oceny niezawodności systemów szeregowo-równoległych. *Materiały Konferencji Naukowej „Cybernetyka w Gospodarce Morskiej”*, Sopot, 7-16.
- Kołowrocki, K. (1981) Niezawodność systemów szeregowo-równoległych. *Zeszyty Naukowe WSM*, **7**, Gdynia, 97-136.
- Kołowrocki, K. (1985) O klasie asymptotycznych funkcji niezawodności systemów równoległo-szeregowych. *Materiały na Sesję Naukową Sekcji Eksploatacji Maszyn KBM-PAN „Wybrane Zagadnienia Eksploatacji Technicznych Systemów Okrętowych”*, Gdynia, 44-58.
- Kołowrocki, K. (1987) O klasie granicznych funkcji niezawodności dla systemów równoległo-szeregowych. *Zeszyty Naukowe WSM*, **16**, Gdynia, 5-58.
- Kołowrocki, K. (1990a) Asymptotic reliability functions for series-parallel systems. *Proc. International Conference „Signals and Systems”*, Vol. **1**, Cetinje, 151-165.
- Kołowrocki, K. (1990b) On asymptotic reliability functions of large systems. *Proc. International Conference „Signals and Systems”*, Vol. **2**, Tirupati, 3-14.
- Kołowrocki, K. (1991a) Examples of limit reliability functions for regular nonhomogeneous series-parallel systems. *Proc. International Conference „Neural Networks”*, Vol. **1**, San Diego, 253-262.
- Kołowrocki, K. (1991b) Asymptotic reliability functions for series-parallel systems. *Advances in Modelling and Simulation*, Vol. **25**, No **3**, 49-63.

- Kołowrocki, K. (1991c) On asymptotic reliability functions for large series-parallel systems. *Proc. 13-th IMACS World Congress on Computation and Applied Mathematics*, Dublin, 770-771.
- Kołowrocki, K. (1991d) Limiting reliability functions for series-parallel systems. *Proc. 12th IMEKO World Congress*, Beijing, 257-258.
- Kołowrocki, K. (1992a) On asymptotic reliability functions of large systems. *Advances in Modelling and Simulation*, Vol. **30**, No **1**, 9-20.
- Kołowrocki, K. (1992b) Remarks on a class of limit reliability functions of some regular homogeneous series-parallel systems. *Advances in Modelling and Analysis*, Vol. **34**, No **4**, 57-63.
- Kołowrocki, K. (1992c) A remark on a class of limit reliability functions of some regular homogeneous series-parallel systems. *Abstracts Book, International Mathematical Congress, „Extrapolation and Rational Approximation”*, Tenerife, pp.1.
- Kołowrocki, K. (1992d) Limit reliability functions of some regular homogeneous series-parallel and parallel-series systems. *Proc. International Conference, „Signals, Data, Systems”*, Calcutta, 91-102.
- Kołowrocki, K. (1992e) On limit reliability functions of regular homogeneous series-parallel and parallel-series systems. *Proc. International Conference „Modelling, Simulation and Control”*, Vol. **1**, Hefei, 722-733.
- Kołowrocki, K. (1993a) On a class of limit reliability functions of some regular homogeneous series-parallel and parallel-series systems. *Advances in Modelling and Analysis*, C. Vol. **37**, No **2**, 55-60.
- Kołowrocki, K. (1993b) On asymptotic reliability functions of some series-parallel systems. *Proc. International Symposium on the Mathematical Theory of Networks and Systems*, Regensburg, 745-748.
- Kołowrocki, K. (1993c) O klasie granicznych funkcji niezawodności systemów szeregowo-równoległych i równoległo-szeregowych. *Materiały Zebrania Naukowego Sekcji Podstaw Eksploatacji KBM-PAN, „Wybrane Problemy Eksploatacji Systemów Technicznych”*, Gdynia, 47-58.

- Kołowrocki, K. (1993d) Limit reliability functions of some nonhomogeneous series-parallel and parallel-series systems. *Proc. International Conference „Signals and Data Acquisitions and Processing, Abstracts, Moscow*, 40-42.
- Kołowrocki, K. (1993e) On a class of limit reliability functions of some regular homogeneous series-parallel systems. *Reliability Engineering and System Safety*, **39**, 11-23.
- Kołowrocki, K. (1993f) On asymptotic reliability functions of series-parallel and parallel-series systems with identical components. *Reliability Engineering and System Safety*, **41**, 251-257.
- Kołowrocki, K. (1993g) On a class of limit reliability functions of some regular homogeneous series-parallel systems. *Matematyka Stosowana*, **36**, 55-69.
- Kołowrocki, K. (1993h) *On a class of limit reliability functions for series-parallel and parallel-series systems*. Monograph, Maritime Academy Press, Gdynia.
- Kołowrocki, K. (1994a) Uwaga o klasie granicznych funkcji niezawodności systemów szeregowo-równoległych. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, **2** (98), 279-296.
- Kołowrocki, K. (1994b) Limit reliability functions of some nonhomogeneous series-parallel and parallel-series systems. *Advances in Modelling and Analysis, C*, Vol. **42**. No **2**, 53-64.
- Kołowrocki, K. (1994c) Asymptotic reliability functions of some nonhomogeneous series-parallel and parallel-series systems. *Advances in Modelling and Analysis, C*, Vol. **44**, No **3**, 1-11.
- Kołowrocki, K. (1994d) On asymptotic reliability functions of some series-parallel systems. *Systems and Networks: Mathematical Theory and Applications*, Volume **2**, Akademie Verlag, 745-748.
- Kołowrocki, K. (1994e) The classes of asymptotic reliability functions for series-parallel and parallel-series systems. *Reliability Engineering and System Safety*, **46**, 179-188.

- Kołowrocki, K. (1994f) Limit reliability functions of some series-parallel and parallel-series systems. *Applied Mathematics and Computation*, **62**, 129-151.
- Kołowrocki, K. (1994g) Limit reliability functions of some non-homogeneous series-parallel and parallel-series systems. *Reliability Engineering and System Safety*, **46**, 171-177.
- Kołowrocki, K. (1994h) On limiting forms of the reliability functions sequence of the series-parallel and parallel-series systems. *Applied Mathematics and Computer Science*, **4**, 575-590.
- Kołowrocki, K. (1994i) On a class of limit reliability functions for series-parallel and parallel-series systems. *Proc. Failures'94 - Symposium on Risk, Economy, Safety and Failure*, Johannesburg, pp. 25.
- Kołowrocki, K. (1994j) Graniczne funkcje niezawodności dużych systemów. *Materiały IV Naukowej „Probabilistyka”, Streszczenia*, Jachranka, s. 1.
- Kołowrocki, K. (1994k) Limit reliability functions of large scale series-parallel and parallel-series systems. *Proc. Workshop on Methodological Issues of Probabilistic Safety Analysis*, Gdańsk, 103-116.
- Kołowrocki, K. (1995a) Zastosowanie granicznych funkcji niezawodności do oceny dużych systemów z elementami rezerwowymi. *Materiały Szkoły Zimowej Niezawodności*, Szczyrk, 163-168.
- Kołowrocki, K. (1995b) Application of limit reliability functions to the evaluation of large scale systems. *Lecture Notes of NATO Advanced Study Institute, Reliability and Maintenance of Complex Systems, Abstracts*, Antalya, 3-4.
- Kołowrocki, K. (1995c) Application of limit reliability functions to the evaluation of large scale systems. *Proc. First Ukrainian-Scandinavian Conference, Stochastic Dynamic Systems: Theory and Application, Abstracts*, Użgorod, pp. 45.
- Kołowrocki, K. (1995d) Limit reliability functions and their applications to the evaluation of large scale systems with the reserve

components. *Proc. International Conference, ESREL'95*, Bournemouth, 873-888.

Kołowrocki, K. (1995e) On a class of limit reliability functions for series-parallel and parallel-series systems. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, **61**, 541-569.

Kołowrocki, K. (1995f) Asymptotic reliability functions of some non-homogeneous series-parallel and parallel-series systems. *Applied Mathematics and Computation* **73**, 133-151.

Kołowrocki, K. (1996a) Reliability evaluation of large Weibull systems. *Proc. ESREL'96 Conference-Probabilistic Safety Assessment and Management*, Crete, Springer, 1392-1397.

Kołowrocki, K. (1996b) Limit reliability functions of large Weibull series-parallel systems with different components. *Proc. 3rd International Symposium on Methods and Models in Automation and Robotics*, Międzyzdroje, 799-804.

Kołowrocki, K. (1997a) Graniczne funkcje niezawodności systemów weibullowskich. *Materiały 25 Zimowej Szkoły Niezawodności*, Szczyrk, 82-87.

Kołowrocki, K. (1997b) Reliability evaluation of large weibull systems with different components. *Proc. International Conference ESREL'97, Advances in Safety and Reliability*, Vol. **3**, Lisbon, Pergamon, 1923-1930.

Kołowrocki, K., Kurowicka, D. (1998) Domains of attraction of limit reliability functions. *Proc. International Conference ESREL'98*, Trondheim, Balkema, 673-679.

Kołowrocki, K., Kurowicka, D. (1999) Asymptotyczne podejście do oceny niezawodności systemów technicznych. *Materiały Krajowej Konferencji Bezpieczeństwa i Niezawodności, KONBiN'99*, Zakopane, 153-160.

Kołowrocki, K. (1997c) Limit reliability functions of large systems. *Proc. 1-st International Conference on Mathematical Methods in Reliability*, Bucharest, 473-480.

- Kołowrocki, K. (1997d) O pewnych zastosowaniach granicznych rozkładów statystyk pozycyjnych do oceny niezawodności dużych systemów. *Materiały (Streszczenia) 26 Ogólnopolskiej Konferencji Zastosowań Matematyki*, Zakopane, 38.
- Kołowrocki, K. (1998a) On applications of asymptotic reliability functions to the reliability and risk evaluation of pipelines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 75, 545-558.
- Kołowrocki, K. (1998b) Ocena niezawodności dużych systemów. część 1, konspekt wykładu, *Materiały Szkoły Zimowej Niezawodności*, Szczyrk, 104-106.
- Kołowrocki, K., Cichocki, A., Kurowicka, D., Milczek, B., Rogocka, A., Sarnecka, B. (1998) Ocena niezawodności dużych systemów. część 2, konspekt wykładu, *Materiały Szkoły Zimowej Niezawodności*, Szczyrk, 107-108.
- Kołowrocki, K. (1998c) O klasie granicznych funkcji niezawodności dużych systemów wielostanowych ze starzejącymi się elementami. *Materiały Konferencji „Bezpieczeństwo Systemów '98*, Zakopane, 245-250.
- Kołowrocki, K. (1998d) Zastosowanie granicznych funkcji niezawodności dużych systemów do oceny niezawodności rurociągów. *Materiały Konferencji „Zarządzanie Ryzykiem w Eksploatacji Rurociągów”*, Płock, 1-10.
- Kołowrocki, K. (1999a) On limit reliability functions of large systems. Chapter 11, in: *Statistical and Probabilistic Models in Reliability*, Birkhauser, Boston, 153-183.
- Kołowrocki, K. (1999b) O niezawodności i ryzyku dużych systemów wielostanowych ze starzejącymi się elementami. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, 189-210.
- Kołowrocki, K. (1999c) *Graniczne funkcje niezawodności dwustanowych systemów szeregowych*. Raport, WSM, Gdynia.
- Kołowrocki, K. (1999d) *Graniczne funkcje niezawodności dwustanowych systemów równoległych*. Raport, WSM, Gdynia.

- Kołowrocki, K. (1999e) *Graniczne funkcje niezawodności dwustanowych systemów szeregowo-równoległych*. Raport, WSM, Gdynia.
- Kołowrocki, K. (1999f) *Graniczne funkcje niezawodności dwustanowych systemów równoległo-szeregowych*. Raport, WSM, Gdynia.
- Kołowrocki, K. (1999g) *Graniczne funkcje niezawodności wielostanowych systemów szeregowych*. Raport, WSM, Gdynia.
- Kołowrocki, K. (1999h) *Graniczne funkcje niezawodności wielostanowych systemów szeregowych*. Raport, WSM, Gdynia.
- Kołowrocki, K., Milczek, B. (1999) *Graniczne funkcje niezawodności wielostanowych systemów szeregowych i równoległych. Systemy weibullowskie-program komputerowy*. Raport, WSM Gdynia.
- Kołowrocki, K. (1999i) O zastosowaniu granicznych funkcji niezawodności systemów wielostanowych do oceny niezawodności rurociągów. *Materiały II Konferencji „Zarządzanie Ryzykiem w Eksploatacji Rurociągów”*, Płock, 201-218.
- Kołowrocki, K. (1999j) Reliability and risk evaluation of large multistate systems. *Proc. 17-th International System Safety Conference*, Orlando, 489-498.
- Kołowrocki, K. (1999k) Reliability evaluation of large scale pipeline systems. *Proc. International Conference ESREL'99*, Munich, Balkema, 323-328.
- Kołowrocki, K. (1999l) Asymptotyczne podejście do oceny niezawodności systemów transportu rurociągowego i linowego. *Materiały Krajowej Konferencji Bezpieczeństwa i Niezawodności, KONBiN'99*, Zakopane, 145-152.
- Kołowrocki, K., Smolarek, L. (1999) Komputerowe szacowanie niezawodności ryzyka dużych systemów wielostanowych. *Materiały Krajowej Konferencji Bezpieczeństwa i Niezawodności, KONBiN'99*, Zakopane 1999, 161-168.
- Kołowrocki, K. (2000a) O poprawianiu niezawodności dużych jednorodnych systemów wielostanowych. *Materiały Szkoły Zimowej Niezawodności*, Szczyrk, 137-148.

- Kołowrocki, K., Milczek, B. (2000) O szacowaniu niezawodności dużych wielostanowych systemów weibulowskich, *Materiały Szkoły Zimowej Niezawodności*, Szczyrk, 149-160.
- Kołowrocki, K. (2000b) On asymptotic approach to multistate systems reliability evaluation. Chapter 11, in: *Recent Advances in Reliability Theory: Methodology, Practice and Inference*, Birkhauser, Boston, 163-180.
- Kołowrocki, K. (2000c) Computer supported reliability and risk evaluation of large multistate systems. *Proc. International Conference ESREL'99*, Edinburgh, 1217-1224.
- Kołowrocki, K. (2000d) Asymptotic approach to reliability and risk evaluation of large piping transportation and energy distribution systems. *Proc. International Conference ESREL'00*, Edinburgh, 1201-1207.
- Kołowrocki, K. (2000e) Asymptotyczne podejście do oceny niezawodności wielostanowego progowo-szeregowego podnośnika statków. *Materiały IV Krajowej Konferencji Naukowej-Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe*, Wrocław, 305-312.
- Kołowrocki, K. (2000f) Asymptotic approach to reliability evaluation of rope transportation system. *Reliability Engineering and System Safety*, (to appear).
- Kołowrocki, K. (2000g) On limit reliability functions of large multistate systems with ageing components. *Applied Mathematics and Computation*, (to appear).
- Kołowrocki, K. (2000h) Weibull Distributions application to reliability evaluation of transportation systems. *Archives of Transport*, vol. 12, iss. 2, 17-31.
- Kołowrocki, K. (2000i) An availability modelling of transportation systems. *Proc. 2-nd International Conference on Mathematical Methods in Reliability, MMR'00*, Bordeaux, 607-610.
- Kołowrocki, K., Smolarek, L. (2000) An estimation of the speed of the system reliability sequences convergence. *Proc. 2-nd*

International Conference on Mathematical Methods in Reliability, MMR'00, Bordeaux, 611-614.

- Kołowrocki, K. (2000j) *Ocena niezawodności wybranych systemów transportu portowego*. Konsultacje: Baranowski Z., Cichosz J., Jewasiński D., Port Gdynia, Raport, WSM, Gdynia.
- Kołowrocki, K., Milczek, B. (2001a) Komputerowe szacowanie niezawodności systemów wielostanowych. część 1. Algorytmy oceny niezawodności wielostanowych systemów wykładniczych. *Materiały Szkoły Zimowej Niezawodności*, Szczyrk.
- Kołowrocki, K., Milczek, B. (2001b) Komputerowe szacowanie niezawodności systemów wielostanowych. część 2. Zastosowania algorytmów do oceny niezawodności systemów wykładniczych. *Materiały Szkoły Zimowej Niezawodności*, Szczyrk.
- Kołowrocki, K., Milczek, B. (2001c) Komputerowe szacowanie niezawodności systemów wielostanowych. część 3. Program komputerowy Rel3 i jego użytkowanie. *Materiały Szkoły Zimowej Niezawodności*, Szczyrk.
- Kopociński, B. (1976) Limiting properties of the k-th record values. *Applied Mathematics*, **15**, 187-190.
- Kopociński, B. (1973) *Zarys teorii odnowy i niezawodności*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Krajewski, B., Pawluk, C. (1999) Opinia o niezawodności i eksploatacji okrętowego elewatora linowego. Stocznia Marynarki Wojennej, Gdynia.
- Kurowicka, D. (1998) Domains of attraction of asymptotic reliability functions of some homogeneous series-parallel systems. *Applied Mathematics and Computation*, **98**, 61-74.
- Kurowicka, D. (2001) *Techniques in representing high dimensional distributions*. Ph.D. thesis, Faculty of Mathematics, Delft University.

- Kwiatuszewska-Sarnecka, B. (2001) Podwyższanie niezawodności wielostanowego systemu komunikacji miejskiej. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, (w recenzji).
- Leadbetter, M. R. (1974) On extreme values in stationary sequences. *Z. Wahrscheinlichkeitstheorie Verw. Gebiete*, **28**, 289-303.
- Milczek, B. (1999) Limit reliability functions of series-,k out of n" systems with applications to reliability evaluation of technical systems. *Proc. International Conference ESREL'99*, Munich, A. A. Balkema, 305-310.
- Milczek, B. (2000) On the class of limit reliability functions of non-homogeneous series-,k out of n" systems. *Proc. International Conference ESREL'00*, Edinburgh, A. A. Balkema, 1603-1609.
- Meng, F. (1993) Component-relevancy and characterisation in multistate systems. *IEEE Transactions on Reliability*, **42**, 478-483.
- Natvig, B. (1982) Two suggestions of how to define a multistate coherent system. *Adv. Applied Probability*, **14**, 434-455.
- Norma Branżowa BN-75/21 18-01. Dźwignice. Wytyczne oceny zużycia lin stalowych.
- Pantcheva, E. (1984) *Limit theorems for extreme order statistics under nonlinear normalization*. Lecture Notes in Mathematics, **1155**, 284-309.
- Polska Norma PN-68/M-80-200. Liny stalowe. Podział i zasada budowy.
- Polska Norma PN-81/M-46-650. Przenośniki kubelkowe. Podział i główne wymiary.
- Prasad, V., Kuo, W., Kim, K. (1999) Optimal allocation of s-identical multi-functional spares in a series systems. *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. **48**, No. **2**, 118-126.
- Resnick, S. I. (1973) Limit laws for recorded values. *Stochastic Processes and their Applications*, **1**, 67-82.
- Ross, S. (1979) Multivalued state component systems. *Annals of Probability*, **7**, 379-383.

- Smalko, Z. (1996) *Modelowanie eksploatacyjnych systemów transportowych*. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom.
- Smalko, Z. (1998) *Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Smirnow, N. W. (1949) *Predielnyje zakony raspredielenija dla czlienow wariacjonnogo riada*. Trudy Matem. Inst. im. W. A. Stieklowa.
- Smith, R. L. (1982) The asymptotic distribution of the strength of a series-parallel systems with equal load-sharing. *Annals of Probability*, **10**, 137-171.
- Smith, R. L. (1983) Limit theorems and approximations for the reliability of load sharing systems. *Adv. Appl. Prob.*, **15**, 304-330.
- Smolarek, L. (1999) *Szybkość zbieżności ciągów funkcji niezawodności systemów dwustanowych*. Raport, WSM, Gdynia.
- Sutherland, L. S., Soares, C. G. (1997) Review of probabilistic models of the strength of composite materials. *Reliability Engineering and System Safety*, **56**, 183-196.
- Tata, M. N. (1969) On outstanding values in a sequence of random variables. *Z. Wahrscheinlichkeitstheorie Verw. Gebiete*, **12**, 9-20.
- Von Mises, R. (1936) La distribution de la plus grande de n valeurs. *Revue Mathematique de l'Union Interbalkanique*, **1**, 141-160.
- Watherhold, R. C. (1987) Probabilistic aspects of the strength of short fibre composites with planar distributions. *Journal of Materials Science*, **22**, 663-669.
- Xue, J. (1985) On multistate system analysis. *IEEE Transactions on Reliability*, **34**, 329-337.
- Xue, J., Yang K. (1995a) Dynamic reliability analysis of coherent multistate systems. *IEEE Transactions on Reliability*, **4**, Vol. **44**, 683-688.
- Xue, J., Yang, K. (1995b) Symmetric relations in multistate systems. *IEEE Transactions on Reliability*, **4**, Vol. **44**, 689-693.

Krzysztof Kołowrocki

**ASYMPTOTYCZNE PODEJŚCIE DO ANALIZY
NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW**

Książka zawiera opis metod oraz wyniki badań niezawodności dużych systemów.

Rozważane są nieodnawialne systemy dwustanowe oraz systemy wielostanowe ze starzejącymi się elementami uszkadzającymi się niezależnie.

Ustalone zostały klasy możliwych granicznych funkcji niezawodności dla dwu i wielostanowych jednorodnych i niejednorodnych systemów szeregowych, równoległych, szeregowo-równoległych i równoległo-szeregowych. Problem wyznaczania granicznych funkcji niezawodności dla tych systemów został rozwiązany całościowo przy dowolnych funkcjach niezawodnościich elementów.

Przytoczone zostały przykłady zastosowań wyników do oceny niezawodności modelowych dużych systemów dwustanowych. Wyniki dotyczące systemów wielostanowych zastosowane zostały do oszacowania charakterystyk niezawodnościowych dużych systemów transportu portowego i stoczniowego.

Sformułowane zostały problemy otwarte oraz wytyczona została perspektywa dalszych badań nad metodami oceny i optymalizacji niezawodności dużych systemów.

Monografia przeznaczona jest dla czytelników zainteresowanych badaniami niezawodności oraz bezpieczeństwa eksploatacji dużych systemów technicznych na etapach ich projektowania i eksploatacji.

ISSN 0208-8029

ISBN 83-85847-58-8

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 837-35-78 w. 241 e-mail: bibliote@ibspan.waw.pl**