

**"O AKTUALNYCH KIERUNKACH BADAŃ W ZAKRESIE
MODELOWANIA I POMIARU RYZYKA KATASTROFICZNEGO"**

WOJCIECH RYBICKI

AKADEMIA WOJSK LĄDOWYCH WE WROCŁAWIU

Ogólnopolska Konferencja Naukowa

Modelowanie Preferencji a Ryzyko '21

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach

Katedra Badań Operacyjnych

Katowice, 22-23 marca 2021 r

OMÓWIENIE TEMATYKI

W eseju zarysowano wybrane zagadnienia z obszaru modelowania zjawisk i procesów obejmowanych zbiorczo –umowną- etykietą: „katastrof”.

Modelowanie rozumiane jest tu szeroko: „od kwalifikacji po kwantyfikację”, przy czym kluczowe są tu „syndromy nietypowości, niepewności i zaskoczenia”, stanowiące wyróżniki omawianej domeny zjawisk i ich charakterystyk modelowych. **Przywoływane są ramy formalne dla opisu bytów, których stopień poznania merytorycznego, tak w sferze zakresu (rzędu, kalibru, momentu, okresu) ich realizacji jak w sferze znajomości mechanizmu kreacji (stopnia nieoznaczoności, niepewności dotyczącej rodzaju niepewności), dalekie są od powszechnie uznawanych za „typowe”.**

Uwaga o umowności kwalifikacji tematyki – oczywiście „katastrofy finansowe” stanowią tu niebagatelny podobszar ale domena jest znacznie szersza, ze zmianami klimatycznymi i dewastacją ekologiczną na czele.

O czym zatem pragnął bym dywagować? Tradycyjnie oczekuje się (od modeli) pewnych „ilościowych” konkluzji czy predykcji (ściślej: „*predictive power*”). W rozważanych sytuacjach zderzamy się jednak z „mglistością” w identyfikacji obiektów („definiowanych” przez, szeroko rozumiane, zaprzeczenia). Jest ona, niejako, programowa i nieunikniona- aspiruje się do odzwierciedlania „niesfornych” i nieprzewidywalnych zjawisk, **tak „rzadkich”, iż –nierzadko- bezprecedensowych (przynajmniej -z perspektywy obserwatora). Trudno tu „uczyć się” statystycznie czy adaptować.** Z drugiej strony, **po zaistnieniu (zdarzenia te) tracą stopniowo swój atrybut „rzadkości”, „pogrubiając ogon”** - co stwarza dość **brzemienną w skutki sytuację logiczno-probabilistyczną, wywołując (także) potrzebę „re-aksjomatyzacji”.** Pobrzmiewa tu (także) echo słynnego **„Probability does not exist!”** Brunona de Finettiego (1937)- i całej „subiektywnej probabilistyki”.

Różnorodność potencjalnych sytuacji (ekstremalna heterogeniczność kontekstów badanej materii: od katastrof –rozmaitych- w sferze środowiska naturalnego, poprzez kryzysy ekonomiczne, finansowe, incydenty terrorystyczne, do pandemii) stawia **pod znakiem zapytania sens poszukiwania rzetelnej i pojemnej „totalnej” syntezy modelowej (a nawet –**

stwarzanie konsekwentnego, jednolitego języka, jeśli chceć wyjść poza ogólniki). Rozliczne, często dość ogólne i atrakcyjne intelektualnie, wartościowe poznawczo, modele, oczywiście były i są tworzone- stąd racja bytu niniejszego komunikatu –szkicu („wybiórczego raportu”)

Autor pragnie uprzedzić, że oferuje (właśnie już teraz!) **raczej “mélange” problemów pytań i - odpowiadający im - “collage” odpowiedzi (modeli, ustaleń), a nie kategoriyczne rekomendacje** czy formalne stwierdzenia uogólniające. Taka też jest konwencja prezentacji- zasygnalizowanie , w formie opisowej, subiektywnie wybranych kwestii „modelowych” ostatnich dziesięcioleci, o nie kwestionowanym ciężarze gatunkowym-naukowym, szczególnie wyraziście brzmiących, a nawet wytyczających kierunki badań. Z góry należy przeprosić Słuchaczy za wysoce nie sformalizowane („zbeletryzowane” – niejako) „pogawędki o bytach formalnych”. Szczególnie razić może pomysł „opowiadania o wzorach – bez wzorów”! Autor jest świadom, że przedstawia jedynie uszczegółowienie zapowiedzi „właściwej” noty naukowej. Żywi wszelako nadzieję, że nawet taki „spis- tabela haseł wywoławczych” –zestawionych „gęsto obok siebie” treści, niesie pewien ładunek informacyjny- przynajmniej zaciekawia Odbiorcę i zachęci do „pochylenia się” nad tematyką. **Pobłażliwy Słuchacz da, bona fide, rozgrzeszenie – intencja wszakże jest szczytna: podzielenia się swymi doświadczeniami czytelniczymi i przemyśleniami ?...**

Część z tych zwiastunów będzie, w planowanym artykule naukowym uściślona, co jest rzeczą oczywistą. „Historia zainteresowania”: od zawsze, ostatnio- Poznań 2020, Katowice 2021 (a), Katowice 2021 (b).

Oś tematyczną znacznej części referatu (i artykułu) stanowią dylematy **filozoficzno-matematyczne związane z ewaluacją zdarzeń (procesów) o potencjalnie wielkich konsekwencjach, których „szanse realizacji” są bardzo małe.** Rzucający się w oczy brak precyzji w sformułowaniu problemu, wraz z intuicyjnością **„zbitki asymptotycznej niemożliwości z asymptotycznie apokaliptycznym efektem”** niepokoił umysły od czasu Pascala Zakładu o istnienie Boga i Paradoксу Petersburskiego Bernoullich i ich sukcesorów. W modernistycznej szacie pojawia się, między innymi, w kontekście „matematycznego cywilizowania” fenomenu Czarnych Łabędzi (Taleb-Chichilnisky), wiążąc z modyfikacją aksjomatyk probabilistycznych.

Warto w tym miejscu podkreślić brak jednolitej teorii (i metodyki) dla porównywania ryzyka katastroficznego – a’la porządku stochastyczne. Nie wydaje się to być przypadkowe: może się tu kryć powinowactwo takimi abstraktami jak liczby porządkowe, bardziej naturalne wydają się być jakieś porządki częściowe, ale także –na przykład- idee hierarchical Bayes modeling. Z nieco innych pozycji (i z innymi intencjami) traktuje te kwestie Weitzmann – w słynnym (kontrowersyjnym) Ponurym Twierdzeniu Klimatycznym („Dismal Thorem”). Istotną rolę spełnia tu transformacje w duchu Bayesowskim.

W tematykę wpisują się również rozważania o nieadekwatności formalizacji w duchu oczekiwanej użyteczności dla opisu sytuacji (zdarzeń) o wymiarach katastrof („Tyranny of catastrophic risk” – Bucholza-Shimury), a także bezużyteczności tego formalizmu w analizie kosztów i korzyści w kontekście zmienności zmian klimatycznych (Tol).

W rozważaniach pojawiają się (w naturalny sposób) kwestie „wielkich odchyień” oraz ciężkich ogonów rozkładów probabilistycznych – a w związku z tym, rewizji interpretacji zdarzeń ekstremalnych (idei „outliers”). Zasygnalizowane będą paradoksy nie-dywersyfikowalności dla klas rozkładów (Ibragimow-Walden). Poruszona też będzie kwestia awersji do ryzyka – w kontekście ryzyka katastroficznego (Gretchuk-Zabarankin), a także mieszanek z nieznaną składową „zaburzającą” („contamination”- Nisimura-Ozaki).

Załączony jest wybór literatury przedmiotu – nie dla „bezpośredniej konsumpcji on line”- lecz w roli „dokumentu historycznie- ilustracyjnego” dla prowadzonej narracji, nie aspirującego wszelako, żadną miarą, do kompletności. Słowo o „Ważnych Nie (całkiem) obecnych”: problem ubezpieczeń (w szczególności - „sprawiedliwego partycypowania” w kosztach zbiorowego nieszczęścia), próby „rozmytego” modelowania zjawisk (i ryzyka) katastroficznego, rozległych implikacjach ekonomicznych (mikro i makro, wzrost, „zanurzenie” w ekonomii dobrobytu w ujęciu horyzontalnym), modelowanie rozwoju epidemii – od idei Bernoulliego), atrakcyjnej filozoficznie koncepcji „Doomsday” („bezsronna” aprioryczna alokacja obserwatorów –czyli nas-w czasie –modyfikacja kopernikańskiej zasady, jako „bezstronności względem czasu” nie „czy” ale „kiedy”- zwolennicy przytaczają anegdotę: „optimist who’s fallen out of a 100-story building. He’s passed 90 stories and says to himself, “so far, so good!”. .) krytykowanej zresztą, między innymi, przez R. Solowa).

PRÓBA „LINEARYZACJI” TREŚCI PREZENTACJI

WIELOŚĆ DEFINICJI – ASPEKTY, AKCENTY

- 0 WIELKIE ODCHYLENIE, RZADKIE ZDARZENIE, NIEZNANE JAKOŚCIOWO ZJAWISKO, SKOK-NIECIĄGŁOŚĆ, PUNKT ZWROTNY, EKSPLODUJĄCY ROZWÓJ, PERMANENTNY, NIEODWRACALNY, KONSEKWENTNY ZANIK

A CATASTROPHIC EVENT IS AN EVENT WITH A (USUALLY) SMALL PROBABILITY OF REALIZATION BUT WITH AN EXTREMELY LARGE LOSS. IN THE STANDARD PROBABILISTIC SETTING, SUCH AN EVENT IS MODELED AS $\{X \leq C\}$ WITH X REPRESENTING AN UNCERTAIN REVENUE AND C BEING A LARGE NEGATIVE CONSTANT (GRETSCHUK, ZABARANKIN 2013).

CATASTROPHIC RISKS ARE RARE EVENTS WITH MAJOR CONSEQUENCES, E.G. CATASTROPHIC CLIMATE CHANGE OR EXTINCTION OF A SPECIES (CHICHILNISKY 2009)

- 1 OLBZYMIA TRUDNOŚĆ W PORÓWNYWANIU KOSZTÓW UDERZENIA ASTEROIDY Z KOSZTAMI (SPOŁECZNYMI – LECZ „W UJĘCIU FINANSOWYM”) KATASTROFALNYCH ZMIAN KLIMATYCZNYCH , STOPNIOWEJ DEGRADACJI ŚRODOWISKA I NADEKSPLOATACJI ZASOBÓW ENERGII I ŚRODKÓW DO ŻYCIA – WNIOSKI SYMULACJI NIEWSPÓŁMIERNIE „NA KORZYŚĆ” KATASTROFY KOSMICZNEJ, DYLEMAT KOSZTÓW (W TYM ROZKŁADU MIĘDZY POKOLENIA) HEDGINGU (Comparing Global Warming and Asteroid Impacts etc., G. Chichilnisky)
- 2 KWESTIA KATASTROF „PEŁZAJĄCYCH” I „ONE-SHOT”
- 3 CZASEM PODNOSZONE ROZRÓŻNIENIE MIĘDZY „DISASTER” A „CATASTROPHIC EVENT”

RELATYWIZACJA POJĘCIA „OUTLIER” – Z POWODU GRUBYCH OGONÓW

1. **ZMIANA PARADYGMATU POMIARU RYZYKOWNOŚCI SYTUACJI PRZEZ FILOZOFIE WAŻENIA ODCHYLEN OD CENTRUM** NA RZECZ POWROTU DO WYJŚCIOWYCH ZMIENNYCH :
RYZYSKO DUŻE , JEŚLI POZIOM WARTOŚCI DUŻY
(„WARIANCJO-PODOBNE” CAŁKOWE MIARY ROZRZUTU W DUCHU STOCHASTYCZNYCH PORZĄDKÓW DRUGIEGO RZĘDU LUB (DUALNIE) DOMINACJI STOCHASTYCZNEJ 2 RZĘDU,

NIE INFORMUJĄ W TAKICH PRZYPADKACH O **ROZMIARZE GROZY**,
A MOGĄ – Z **FORMALNEGO PUNKTU WIDZENIA- NIE ISTNIEĆ**)

2. **FENOMEN NIE-DYWERSYFIKOWALNOŚCI „WIELKIEGO RYZYKA”. AGITACJA:
ŚREDNIA ARYTMETYCZNA IID ZMIENNYCH CAUCHEGO MA ROZKŁAD TAKI SAM JAK
KAŻDA Z N KOPII (NIE ZMNIJSZA „RYZYKA”).**

KRYTYKA EWALUACJI W DUCHU EXPECTED UTILITY -

**CAŁA SKALA ZASTRZEŻEŃ (ZNANA OD DAWNA PARADOKSY).
W „NASZYM” KONTEKŚCIE KORONNY ZARZUT: UŚREDNIANIE POWODUJE NIE
WRAŻLIWOŚĆ NA RYZYKO KATASTROFICZNE, JEŚLI JEGO PRAWDOPODOBIENSTWO (?)
JEST ZNIKOME (OGÓLNI „ZAMAZUJE” OBRAZ, „WYGŁADZANIE” JEST TU SKAZĄ!).**

**EWALUACJA W DUCHU EU NIE WŁAŚCIWA - POWRÓT KŁOPOTÓW PARADOKSU
PETERSBURSKIEGO (ROLA MENGERA, WARUNEK OGRANICZONOŚCI
UŻYTECZNOŚCI, REKAPITULACJA SAMUELSONA, „KLASYCZUJĄCY” POMYSŁ SEIDLA
2013 – ZASTOSOWANIE KRYTERIUM D’ALEMBERTA).**

**KONFRONTACJA „MAŁE PRAWDOPODOBIENSTWA – WIELKIE STRATY” RODZI
„DYLEMAT ARYTMETYCZNY **ZERO RAZY NIESKOŃCZONOŚĆ**”, BLAISE PASCAL**

**NIEKLASYCZNE SYSTEMY PROBABILISTYCZNE (STATYSTYCZNE)
DOWARTOŚCIOWANIE ZNACZENIA ZDARZEŃ RZADKICH, „TŁUMIONYCH” W
KLASYCE PRZEZ WYMÓG SIGMA-ADDYTYWNOŚCI (INSPIRACJA: CZARNE ŁABĘDZIE -
TALEB ,CHICHILNISKY). NOWA AKSJOMATYKA, FORMALNE IDEA TO PRZEDE
WSZYSTKIM REZYGNACJA Z POSTULATU MONOTONICZNEJ CIĄGŁOŚCI
„PRAWDOPODOBIENSTWA”. TWIERDZENIE O ISTNIENIU.
POSTAĆ: KOMBINACJA WYPUKŁA MIARY PRZELICZALNIE ADDYTYWNEJ I
SKOŃCZENIE („CZYSTO”!) ADDYTYWNEJ. W PRZYPADKU BRAKU ZDARZEŃ
KATASTROFICZNYCH „ZAWĘŻENIE” POKRYWA SIĘ –W SFERZE TEORIO-DECYZYJNEJ
EU N-M.**

**W TLE –TAKŻE- ZASADA „SAFETY FIRST” ROYA (1952) – IDEA: WAŻENIE
KOMPONENTU KONWENCJONALNEGO (CAŁKOWEGO) Z ZABEZPIECZENIEM PRZED
NAJGORSZYM PRZYPADKIEM (MINIMALIZACJA PRAWDOPODOBIENSTWA TEJ
EWENTUALNOŚCI, KTÓREJ „GROZA” JEST NIEWYCENIALNA, WARTA KAŻDEJ CENY).**

„DRAGON-KINGS” i SZARE ŁABĘDZIE.

**REFLEKSJA OGÓLNA –REKAPITULUJĄCA TEN FRAGMENT ROZWAŻAŃ:
NIE POWINNA „DZIWIĆ” NIEADEKWATNOŚĆ ORTODOKSYJNEGO MODELOWANIA W „ŚWIECIE
WIELKICH ZMIENNYCH”, KTÓRY – Z FIZYCZNEJ I MATEMATYCZNEJ PERSPEKTYWY- WRĘCZ**

**„POWINIEN RZĄDZIĆ SIĘ ODMIENNYMI PRAWAMI”, PRZEZ ANALOGIĘ DO KONSTATAACJI -
“NEWTON’S THEORY WORKS FINE FOR CARS AND TRAINS, BUT NOT FOR SPACE
SHIPS”, LITT, I. (1997). *TAKING OUR PULSE: THE HEALTH OF AMERICAN WOMEN*,
STANFORD UNIVERSITY PRESS, STANFORD, CA.**

**DISMAL THEOREM MARTINA WEITZMANNA (2009)–DYSKUSYJNY (ARBITRALNE)
DOBÓR FUNKCJI UŻYTECZNOŚCI (POTEGOWEJ, CRRA) WIĄŻE SIĘ Z METODYKĄ
EWALUACJI KATASTROFY Z PERSPEKTYWY SPOŁECZNEJ. MILLNER (2013) POKAZUJE,
ŻE NAWET GDY POSZCZEGÓLNE JEDNOSTKI MAJĄ OGRANICZONE (OD DOŁU)
FUNKCJE „UŻYTECZNOŚCI”, TO SPOŁECZENSTWO JAKO CAŁOŚĆ „WYCENIA”
KATASTROFĘ JAKO „NIESKOŃCZENIE ZŁĄ”.**

BAYESOWSKA KREACJA GRUBYCH OGONÓW – TRANSFORMACJA WEITZMANNA

**DEFETYSTYCZNA SUPPOZYCJA RICHARDA TOLLA “IS THE UNCERTAINTY ABOUT
CLIMATE CHANGE TOO LARGE FOR EXPECTED COST-BENEFIT ANALYSIS?”**

**IKEFUJI-MAGNUS I WSPÓŁGRANIE UŻYTECZNOŚCI Z PROBABILISTYKĄ, ROLA
UOGÓLNIONYCH UŻYTECZNOŚCI PARETO**

**KWESTIA AWERSJI DO RYZYKA KATASTROFICZNEGO –VIA MODEL UOGÓLNIAJĄCY
KONCEPCJE G. CHICHILNISKY**

**„NIEOZNACZONOŚĆ STOCHASTYCZNA” – MULTIPLE PRIORS, MEU SCHMEIDLER-
GILBOA**

**OGÓLNIENIE – „UCIECZKA” DO (UOGÓLNIOWEJ, NIE-CZĘSTOŚCIOWEJ) FILOZOFII
BAYESOWSKIEJ**

PREKURSORSKIE „GONITWY I LOTERIE” ANSCOMBE’A – AUMANNA (1963).

**MIESZANKI „ZANEGO Z NIEZNANYM” (CONTAMINATION)- ZNANE JUŻ W
ZUPEŁNIE INNYM KONTEKŚCIE -KOWARIANCYJNEJ TEORII PROGNOZY PROCESÓW
STOCHASTYCZNYCH W LATACH 70-TYCH XX WIEKU.**

LITERATURA - WYBÓR

- (1) Von Neumann, John and Oscar Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 1944
- (2) Savage, Leonard, *The Foundations of Statistics*, New York: Wiley, 1954.

- (3) Allais, Maurice, "Le Comportement de l'Homme Rationnel devant le Risque, Critique des Postulats et Axiomes de l'Ecole Américaine," *Econometrica*, 1953.
- (4) Anscombe, F. and R. Aumann, "A Definition of Subjective Probability", *Annals of Math. Statistics*, 1963.
- (5) Arrow, Kenneth, *Essays on the Theory of Risk Bearing*, 1971.
- (6) Pratt, J. "Risk Aversion in the Small and in the Large," *Econometrica*, 1964
- (7) Ellsberg, Daniel "Risk, Ambiguity and the Savage Axioms," *Quarterly J. Econ.*, 1961
- (8) Machina, Mark "Choice Under Uncertainty: Problems Solved and Unsolved," *J. of Econ. Perspectives*, Summer 1987, pp. 121-154.
- (9) Chichilnisky, G. "An axiomatic approach to choice under uncertainty with catastrophic risks," *Resource and Energy Economics*, vol. 22, no. 3, pp. 221–231, 2000.
- (10) Chichilnisky, G. "The foundations of statistics with black swans," *Mathematical Social Sciences*, vol. 59, no. 2, pp. 184–192, 2010.
- (11) Chichilnisky, G., Eisenberger P. – "Asteroids: Assessing Catastrophic Risks", (2010) , *Journal of Probability and Statistics*,
- (12) Stern N. (2006), "The Economics of Climate Change: The Stern Review", Cambridge University Press
- (13) Menger K. (1934), "Das Unsicherheitsmoment in der Wertlehre. Betrachtungen in Anschluss an das sogenannte Petersburger Spiel", *Zeitschrift für Nationalökonomie* 5
- (14) Ikefuji, M., Laeven, R. J. A., Magnus, J. R., Muris, C., 2013. Pareto utility. *Theory and Decision* 75, 43–57.
- (15) Ikefuji, M., R.J.A. Laeven, J.R. Magnus, and C. Muris (2017), "Expected Utility and Catastrophic Risk", Working Paper, Tilburg University
- (16) Heal G. (2008), "Climate Economics: A Meta-Review and Some Suggestions for Future Research", *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 3 (1), pp. 4–21
- (17) Gilboa, Itzhak and Schmeidler, David. "Maxmin Expected Utility with Non-unique Prior." *Journal of Mathematical Economics*, 1989, 18(2), pp. 141–53
- (18) Roy, A.D. Safety first and the holding of assets // *Econometrica*. –1952. – 20. – P. 431- 449.
- (19) Tol, Richard S. J. .Is the Uncertainty about Climate Change Too Large for Expected Cost-Benefit Analysis.. *Climatic Change*, 2003, 56, pp. 265-289.
- (20) Nordhaus, William D. .The Stern Review on the Economics of Climate Change.. *Journal of Economic Literature*, 45 (3) (September 2007).
- (21) Weitzmann, Martin . 2009a. On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change. *Review of Economics and Statistics* 91: 1–19.
- (22) Pindyck, Robert S. 2011. Fat tails, thin tails, and climate change policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 5 (2): 258–74. 10.1093/reep/ rer005.
- (23) de Finetti, B. (1937), La prévision: ses lois logiques, ses sources subjectives, *Ann. Inst. Henri Poincaré* 7, 1–68. Translation reprinted in H.E. Kyburg and H.E. Smokler (eds.) (1980), *Studies in Subjective Probability*, 2nd edn (pp. 53–118). New York: Robert Krieger.
- (24) Zeckhauser, R. (1996) The economics of catastrophes , *Journal of Risk and Uncertainty*, 12:113–140 (1996)
- (25) G. Chichilnisky, "Updating von Neumann Morgenstern axioms for choice under uncertainty with catastrophic risks," in *Proceedings of the Conference on Catastrophic Risks*, The Fields Institute for Mathematical Sciences, Toronto, Canada, June 1996.
- (26) Pindyck, Robert, Martin Ian. (2015), Averting Catastrophes: The Strange Economics of Scylla and Charybdis, *American Economic Review*, 2947-85
- (27) Pindyck, Robert S. 2013b. "The Climate Policy Dilemma." *Review of Environmental Economics and Policy*, 7(2): 219–237.
- (28) Millner, Antony. 2013. "On Welfare Frameworks and Catastrophic Climate Risks." *Journal of Environmental Economics and Management*, 65: 310–325.
- (29) Buchholz, Wolfgang & Schymura, Michael, 2012. "[Expected utility theory and the tyranny of catastrophic risks](#)," *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 77(C), pages 234-239.

- (30) Sergey Foss , Dmitry Korshunov , Stan Zachary (2011) An Introduction to Heavy-Tailed and Subexponential Distributions, Springer
- (31) Seidl, C. (2013). The St. Petersburg Paradox at 300. *Journal of Risk and Uncertainty*, 46(3), 247-264.
- (32) Samuelson, P. A. (1977). St. Petersburg paradoxes: Defanged, dissected, and historically described. *Journal of Economic Literature*, 15(1), 24-55.
- (33) Kato, S. (2020) From the St. Petersburg paradox to the dismal theorem. [Environment and Development Economics](#), 2020, vol. 25, issue 5, 423-432
- (34) Nešlehov´a, J., Embrechts, P., Chavez-Demoulin V. (2006) Infinite Mean Models and the LDA for Operational Risk, *Journal of Operational Risk*, pp.3-25
- (35) Norkin, V., Boyko, S. – (2012) On safety-first portfolio selection, March 2012 [Cybernetics and Systems Analysis](#) 48(2)
- (36) Ibragimov, R., Jaffee, D., Walden, J., 2009. Nondiversification traps in catastrophe insurance markets. *The Review of Financial Studies* 22, 959–993.
- (37) Gabaix, X., 2009. Power laws in economics and finance. *Annual Review of Economics* 1, 255–293.
- (38) Schwarz, M. (1999) Decision making under extreme uncertainty, Harvard
- (39) Gretschnik B., Zabarankin, M. (2014), Risk Averse Decision Making under Catastrophic Risk
- (40) Buchholz, W., Schymura, M., Expected Utility Theory and the Tyranny of Catastrophic Risks. *Ecological Economics*, 2012; 77:234–239.
- (41) Artzner, P. et al. (1999), Coherent Measures of Risk, [Mathematical Finance](#) 9(3):203 – 228
- (42) R. Posner, *Catastrophes, Risk and Resolution*, Oxford University Press, Oxford, UK, 2004
- (43) Nishimura K.G., Ozaki H. – An axiomatic approach to ε -contamination, 2006, *Economic Theory* , vol.27: 333-340