

## ДОПРИНОС ДИГИТАЛИЗАЦИЈЕ УНАПРЕЂЕЊУ МЕРЕЊА КАТАСТРОФАЛНИХ РИЗИКА

### CONTRIBUTION OF DIGITALIZATION TO THE IMPROVEMENT OF CATASTROPHIC RISKS MEASUREMENT

**Благоје Пауновић**

Универзитет у Београду, Економски факултет, Србија  
paunovic@ekof.bg.ac.rs

**Марија Копривица**

Универзитет у Београду, Економски факултет, Србија  
marijajovovic@ekof.bg.ac.rs

**Наташа Тешић**

Универзитет у Источном Сарајеву, Факултет пословне економије Бијељина,  
Република Српска, Босна и Херцеговина  
natasa.tesic@fpe.unssa.rs.ba

***Апстракт:** Природне катастрофе и катастрофе изазване људским деловањем незаобилазан су део постојања и развоја људске заједнице. Остварење катастрофалних ризика доводи до бројних људских жртава, уништавања економске и социјалне инфраструктуре и нарушавања животне средине. Стога је мерење ових ризика, у циљу адекватног управљања њима, претпоставка одрживог развоја. Услед недовољности информација о факторима који утичу на вероватноћу реализације катастрофа, као догађаја ниског интензитета и високе фреквенције, мерење катастрофалних ризика представља својеврстан изазов у теорији и пракси. Класичне теорије и методе мерења ризика показале су се неадекватним у погледу могућности благовременог идентификовања, поуздане процене и ефикасног управљања овим ризицима. Отуда произилази потреба за креирањем нове научне парадигме, засноване на стохастичкој теорији, која ће омогућити прецизније квантификовање катастрофалних ризика, пре свега ризика од природних катастрофа. Предмет овог рада је анализа доприноса дигитализације могућностима мерења катастрофалних ризика. Аналитика великих података (Big Data), вештачка интелигенција (Artificial Intelligence – AI) и машинско учење (Machine Learning), као покретачи четврте индустријске револуције, доносе вишеструке могућности у погледу предвиђања катастрофалних*

догађаја. Након сагледавања теоријских и методолошких приступа, посебан акценат у раду ће бити стављен на потенцијале коришћења ових технологија и релевантних софтверских решења за мерење катастрофалних ризика.

**Кључне речи:** четврта индустријска револуција, дигитализација, природне катастрофе, мерење катастрофалних ризика

**Abstract:** *Natural disasters and man-made catastrophes are an indispensable part of the existence and development of the human society. The realization of catastrophic risks leads to numerous human casualties, destruction of economic and social infrastructure and environmental degradation. Therefore, the measurement of these risks in order to adequately manage them, is a prerequisite for sustainable development. Measuring catastrophic risks presents a unique challenge in theory and practice due to insufficient information on factors affecting the likelihood of disasters, as the events of low intensity and high frequency. Classic theories and risk measurement methods have proved inadequate regarding timely identification, reliable assessment and efficient management of these risks. Hence, there is a need for the creation of a new scientific paradigm based on stochastic theory, which will enable more precise quantification of catastrophic risks, primarily risks of natural disasters. This paper deals with an analysis of the contribution of digitalization to the possibilities of measuring catastrophic risks. Big Data, Artificial Intelligence and Machine Learning, as the drivers of the fourth industrial revolution, bring multiple possibilities in terms of predicting catastrophic events. After considering theoretical and methodological approaches, a special emphasis will be placed on the potentials for implementing these technologies and relevant software solutions for measuring catastrophic risks.*

**Key Words:** *fourth industrial revolution, digitalization, natural disasters, measuring catastrophic risks*

## УВОД

Услед њихове растуће учесталости и интензитета у глобалним размерама, катастрофални ризици представљају једну од кључних претњи за одрживи развој у савременим условима. Својом реализацијом, катастрофални ризици узрокују хуманитарне ефекте (укључујући губитак људских живота, физичке и психичке повреде лица), економске ефекте (који могу бити директни – у виду оштећења и уништења инфраструктуре, стамбених и комерцијалних објеката и других материјалних облика активе и индиректни – нпр. услед прекида рада пословних субјеката и изгубљене зараде), као и еколошке ефекте (попут губитка обрадивог земљишта и деградације екосистема) (Кочовић, Пауновић, Јововић, 2014, стр. 8). Стога је мерење ових ризика, у циљу адекватног управљања њима, у интересу целокупне националне економије и друштвене заједнице.

Посматрано на нивоу појединачних географских региона, катастрофални догађаји су релативно ретки, а када се десе доводе до акумулације штетних последица. Недостајући подаци и наглашено асиметричне расподеле вероватноћа штета објективно отежавају мерење катастрофалних ризика. Стога, благовремено

идентификовање и прецизно квантификовање ових ризика захтева стохастичке моделе, за чији су развој и примену неопходна мултидисциплинарна знања и одговарајућа софтверска подршка. Предмет рада је анализа доприноса дигитализације унапређењу мерења катастрофалних ризика. Свет се налази на прагу четврте индустријске револуције, вођене све већом доступношћу изванредних технологија које имају потенцијал да из корена промене начин на који живимо, радимо и комуницирамо. Њихова интеракција омогућује конвергенцију физичке, дигиталне и биолошке сфере и доводи до трансформације економије и друштва у целини (Schwab, 2016, стр. 7). Циљ рада је да укаже на потенцијале, али и ограничења, нових технологија које могу бити коришћене приликом моделирања катастрофалних ризика, а првенствено ризика природних катастрофа.

## 1. ПОЈАМ КАТАСТРОФАЛНИХ РИЗИКА

Ризик, односно неизвесност у вези исхода неког догађаја, интегрални је и неизбежан део постојања и функционисања сваког појединца, предузећа, институције, државе. Поделе ризика су многобројне, а овде ће акценат бити на групи ризика који су по својој природи најразорнији, познатијим као катастрофални ризици. Својом реализацијом, катастрофални ризици доводе до драматичних људских жртава, урушавања економске и социјалне инфраструктуре друштва и угрожавања животне средине, а превазилажење њихових последица захтева ванредна средства и вештине. Катастрофа, као појава, не може се дефинисати на универзалан начин. У различитим дисциплинама симултано су изнедрене различите дефиниције катастрофалног догађаја (Thywissen, 2006). У разматрању овог феномена неопходно је узети у обзир више аспеката. Пре свега, катастрофалне ризике одликују комплексне просторно – временске карактеристике, те је управљање овим ризицима (нпр. путем осигурања) знатно изазовније и склоније неуспеху. Конкретно, одштетни захтеви су међусобно корелисани, те су осигуравачи приморани да исплаћују накнаду штете великом броју клијената истовремено, чиме доводе у питање своју ликвидност. Штете услед наступања катастрофалних ризика, као ризика ниске фреквенције и високог интензитета (енгл. *low frequency - high severity risks*) обично одликују високи скокови (енгл. *high peaks*), док је прецизно утврђивање њихове вероватноће компликовано и захтева другачији приступ у односу на уобичајене ризике високе фреквенције и ниског интензитета (енгл. *high frequency – low severity risks*), попут ризика аутомобилских несрећа. Даље, катастрофа може да настане изненада, а да траје релативно кратко, или може да се одвија у дужем временском периоду. Ефекти катастрофалних појава се могу одразити на реалну и финансијску имовину у густо насељеним подручјима, као и на пуста, ненасељена места. Мерење ове врсте ризика се може одвијати према произвољним смерницама или помоћу изузетно прецизне метрике (Banks, 2005).

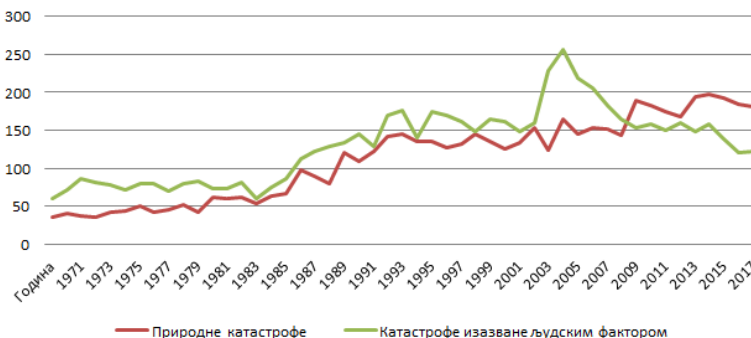
Класичне актуарске методе нису адекватне за мерење катастрофалних ризика, управо због тога што се они одликују ниском фреквенцијом и високим интензитетом. Њихово испољавање доводи до узајамно повезаних разарања која воде ка кумулирању одштетних захтева осигураника, а чија је висина условљена бројним факторима, попут локације на којој се деси катастрофа, густине насељености, просторног уређења итд. Имајући у виду ограниченост информација о факторима који одређују вероватноћу реализације катастрофалних ризика и

истовремену потребу да се препознају сви потенцијални извори губитака, јасно је да је мерење ове врсте ризика велики изазов. Основна идеја закона великих бројева не може да се примени у случају осигурања катастрофалних ризика. Упркос томе, различите стохастичке методе мерења ове врсте ризика омогућавају њихову квантификацију и оцену, као предуслов за одређивање адекватне премије осигурања.

У зависности од покретачких фактора, катастрофални ризици се деле на ризике природних катастрофа и ризике катастрофа изазваних људским фактором. Природне катастрофе могу настати из примарних и секундарних опасности (Swiss Re, 2010, стр. 7). У примарне опасности спадају земљотреси, урагани и снежне олује (вантропски циклони), док се у секундарне опасности убрајају природни феномени попут поплава, плушковитих падавина, поплавних таласа, градоносних олуја, клизишта, торнада, снежних и ледених олуја, суша, шумских пожара итд.

У катастрофе изазване човековим деловањем убрајају се велики пожари, експлозије, ваздухопловне и орбиталне (свемирске) несреће, несреће у рудницима, бродске и железничке несреће, колапси зграда и мостова, терористички напади итд. Према терминологији *Swiss Re*-а, да би се неки штетни догађај класификовао као катастрофалан, неопходно је да очекиване осигуране штете, укупни губици или број жртава превазиђу одговарајуће унапред дефинисане прагове (детаљније у: Swiss Re, 2015, стр. 5). Многобројна истраживања показују да се изложеност ризицима глобалног карактера, који поседују потенцијал да се претворе у катастрофалне догађаје, све више повећава (Јанковић, Тешић, 2015). Томе у прилогу иду видљиве и мерљиве климатске промене у виду глобалног загревања, које ће свакако утицати на повећање хазарда. На Графикону 1. се може видети кретање броја катастрофалних догађаја на годишњем нивоу у периоду од 1970-2018. године. Сасвим је очигледно повећање броја природних катастрофа током времена. Само у току претходне, 2018. године, забележена су укупно 304 катастрофална догађаја, од чега је 181 регистрован као природна катастрофа, а преосталих 123 су изазвани људским фактором (Swiss Re, 2019).

**Графикон 1.** Број катастрофалних догађаја у периоду од 1970-2018. године



**Извор:** Припремљено према подацима са сајта: <http://www.sigma-explorer.com/index.html>

Све израженија угроженост захтева нове, интегрисане приступе у креирању предуслова за одрживи економски развој и управљање ризицима, са експлицитним акцентом на катастрофалним ризицима (Тешић, Пауновић, 2018).

У наставку ће бити представљене одређене теоријске и практичне методе мерења катастрофалних ризика (опширније видети: Тешић, Пауновић, 2018), а затим могућности које са собом доноси дигитализација у погледу начина мерења ове врсте ризика.

## 2. МОДЕЛИ МЕРЕЊА КАТАСТРОФАЛНИХ РИЗИКА

Као што је већ поменуто, моделирање катастрофалних ризика је велики изазов, првенствено због оскудности података о узроцима њиховог настанка. Ипак, стохастички модели нуде механизам за интегрисање и синтезу свих релевантних научних области, података, инжењерских знања, па чак и поступака подносилаца одштетних захтева и осигуравача непосредно након реализације катастрофе. У основи сваког модела за управљање катастрофалним ризицима лежи неизвесност, што треба имати у виду у свим фазама моделирања, почевши од квалитета и потпуности података о изложености ризику, па све до тумачења резултата модела.

### 2.1. Метод сценарија

Метод сценарија се може користити за квантитативно мерење ризика, у функцији адекватне подршке процесу доношења одлука у условима велике неизвесности. Сценарији представљају кохерентне нарације креиране ради описивања неизвесних услова у будућности. Сценарио анализа омогућава идентификацију ограниченог броја исхода у циљу сагледавања потенцијалног развоја екстремних догађаја у будућности.

Конструисање сценарија се дефинише као процес идентификације, категоризације и описивања ризичног сценарија  $S_i$  (Garrick, 2009). На пример, то могу бити сценарији који су резултат деловања неких природних опасности или људског фактора, попут терористичког напада. У првој итерацији се креира тзв. „успешни сценарио“, или сценарио планираног развоја догађаја, без присуства нежељених ефеката. Тај сценарио обично поседује линеарну структуру од  $N$  догађаја, као што се може видети на Слици 1.

Слика 1. Дијаграм успешног сценарија

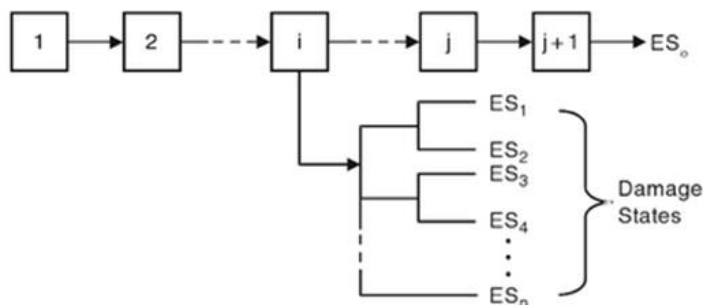


*Извор: Garrick, B. J. (2009). Quantifying and Controlling Catastrophic Risks. Elsevier Inc., стр. 19.*

Имајући у виду структуру успешног следа догађаја ( $S_o$ ), потенцијални сценарији неуспеха се могу приказати у виду одступања од  $S_o$ . Пример „сценарија неуспеха“ је приказан на Слици 2. У  $i$ -том следу догађаја се појављују различита штетна стања ( $ES$ ) која доводе до формирања новог стабла догађаја. Сваки део овог стабла

догађаја представља ризични сценарио који се окончава у фази ( $ES_i$ ) као резултат иницијативног догађаја ( $IE_i$ ).

Слика 2. Стабло догађаја „шта може да крене наопако“



*Извор: Garrick, B. J. (2009). Quantifying and Controlling Catastrophic Risks. Elsevier Inc., стр. 20.*

У квантитативној процени ризика неизвесност параметара се изражава у облику криве расподеле вероватноћа. Криве вероватноће се изводе на бази свих релевантних доказа и основних математичких принципа логичког закључивања, попут *Bayes*-ове теореме. Код осигурања катастрофалних ризика, у сврху адекватне процене потенцијалних штета неопходно је познавање физичких елемената катастрофе, вероватноће њеног настанка и потенцијалних разорних ефеката. Очигледно је да се ради о мултидисциплинарној процедури, која захтева не само економска, него и знања из области геологије и механике.

## 2.2. Монте Карло метод

Реч је о широком спектру математичких модела и алгоритама којима се на бази случајних бројева решавају различити проблеми. Основна идеја методе је у апроксимацији очекиване вредности  $E(X)$  аритметичком средином резултата великог броја независних експеримената који поседују идентичну расподелу као  $X$ . У основи методе је јак закон великих бројева. Монте Карло метод је нарочито погодан за примену у области неживотних осигурања, због чињенице да је степен варирања одштетних захтева много већи него код животног осигурања. Последице катастрофалних догађаја, попут урагана или земљотреса, могу угрозити опстанак осигуравајуће компаније. У том контексту, централно питање је процена вероватноће пропасти за чије моделирање се могу користити тзв. расподеле са тешким репом (Korn, Korn, Kroisandt, 2010). Значајно питање је и одређивање укупног износа штета на нивоу портфолија у току претходно дефинисаног временског периода (најчешће годину дана). Постоји индивидуални и збирни Монте Карло метод, и оба се заснивају на претпоставци независности. У појединачном Монте Карло моделу збир свих полиса осигурања се анализира моделирањем сваког уговора засебно. Код збирног модела, познатог и као *Cramér-Lundberg*-ов модел, прелази се на посматрање сваког појединачног захтева (Embrechts, Klüppelberg, Mikosch, 2008).

У класичном Cramér-Lundberg-овом моделу појављивање захтева се моделира Poisson-овим процесом са параметром  $\lambda > 0$  (Lundberg, 1903). Последица овог модела је да је  $N(t)_{t \geq 0}$  хомоген Poisson-ов процес са интензитетом  $\lambda > 0$ , због чега важи  $P[N(t) = k] = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ . Уколико су  $h$  иницијалне резерве,  $\pi(t)$  рата премије уплаћена у тренутку, а  $X_1, X_2, \dots$  захтеви који се појављују у тренуцима  $t_1, t_2, \dots$ , тада се вероватноћа пропасти може дефинисати као:

$$p_{ruin} = \mathbb{P}\left(\exists t: h + \int_0^t \pi(s) ds - \sum_{i=1}^{\infty} 1_{t_i < t} \cdot X_i < 0\right). \quad (1)$$

Супротна вероватноћа  $1 - p_{ruin}$  представља вероватноћу преживљавања.

### 2.3. Методе динамичке финансијске анализе

Динамичка финансијска анализа (ДФА) дефинише се као „процес испитивања целокупног финансијског положаја осигуравајућег друштва током времена, имајући у виду односе између различитих делова система, као и стохастичку природу фактора који могу деловати на резултате“ (D’Arcy, Gorvett, Herbers, Hettinger, 1997). Методе ДФА се могу користити за креирање парцијалних интерних модела за мерење катастрофалних ризика. Стохастичком симулацијом се могу превазићи ограничења примене историјских података о штетама, на бази узорковања унапред дефинисане расподеле, а у циљу добијања било ког броја реализација посматране варијабле. Процес генерише велику количину „синтетичких“ или „псеудо“ посматрања који дају стабилне излазне моделе, уз претпоставку да се спроведе довољан број симулација. Узимајући у обзир да се резултати добијају на бази расподеле унетих података, опсег потенцијалних екстремних исхода је разноврснији и репрезентативнији него у случају детерминистичког приступа (Kaufmann, Gademir, Klett, 2001).

У оквиру ДФА модела постоје различити приступи моделирања губитака по основу катастрофалних ризика. Неки од њих се заснивају на резултатима тзв. *NatCat* модела, исказаних у виду PML кривих (*Probable maximum loss*), или у виду потпуних таблица губитка (*Event Loss Tables - ELT*). *NatCat* модели се заснивају на процени утицаја великог броја физичких фактора, као што је нпр. брзина ветра, географско усклађивање олујних зона, поља ветра и сл., са циљем да се адекватно представе сви потенцијални догађаји (Diers, 2009, стр. 5). Резултати различитих модела у пракси могу значајно да варирају. У појединачним случајевима, компаније би требало да спроведу специјализоване тестове адаптације на властитом портфолију.

### 3. МЕРЕЊЕ КАТАСТРОФАЛНИХ РИЗИКА У СВЕТЛУ ЧЕТВРТЕ ИНДУСТРИЈСКЕ РЕВОЛУЦИЈЕ

Кључни покретачи четврте индустријске револуције су технологије које ослобђавају компјутере да „мисле“ као људи и да, брже него икада раније, обрађују огромне количине података (Schwab & Davis, 2018, стр. 7). Аналитика великих података, вештачка интелигенција и машинско учење већ су демонстрирали своје предиктивне моћи у различитим областима. Поставља се питање да ли су ове технологије супериорније од људи и у предвиђању и управљању катастрофалним ризицима?

Примена нових технологија у сврхе предвиђања различитих природних катастрофа може сачувати многобројне животе и омогућити благовремено предузимање мера како би се смањиле материјалне штете. У ери дигитализације, омогућен је приступ новим и обимним изворима података о катастрофалним догађајима у реалном времену. Извори великих података о природним катастрофама могу бити: сателити, беспилотне летелице, интернет ствари, симулације, просторни подаци, *crowdsourcing*, платформе друштвених медија (нпр. *Twitter*, *Facebook*, *YouTube*) и уређаји за навигацију (Yu, Yang & Li, 2018, стр. 3). Технологије попут вештачке интелигенције и машинског учења омогућују да се ти комплексни, фрагментисани подаци преведу у информације које ће бити корисне за управљање катастрофалним ризицима. Помоћу машинског учења, на бази поређења са подацима из прошлости, AI системи могу бити „истренирани“ да аутоматски препознају промене на сателитским снимцима земље, или активности на друштвеним мрежама, које упозоравају на опасност од катастрофалних догађаја. Историјски подаци помажу AI системима да „науче“ који фактори доприносе, или који догађаји претходе катастрофама, да би могли да предвиде њихов настанак у будућности на бази *Big Data* анализе у садашњости. Са порастом обима података повећава се и тачност предвиђања.

Све су бројнији научни радови посвећени моделирању катастрофалних ризика помоћу нових технологија, а конкретни примери из праксе потврђују сврсисходност таквих модела у реалности. На пример, анализом великог обима сеизмичких података може се предвидети на којим локацијама и са којом јачином ће настати земљотреси. Rouet-Leduc и сар. (2017) доказују да машинско учење омогућује да се идентификују акустични сеизмички сигнали на основу чијих статистичких карактеристика може прецизно да се израчуна време до наступања наредног потреса. На бази топографије подручја и података о објектима и саобраћају симулирају се штете у случају да се земљотрес деси, а затим врши поређење са историјским подацима да би се испитао квалитет модела. У Јапану се већ користе системи засновани на вештачкој интелигенцији који анализирају сателитске снимке земље како би се оценила вероватноћа наступања земљотреса или цунамија на одређеном подручју. На основу мониторинга инфраструктуре, ти системи могу да детектују и недостатке на различитим објектима (зградама, мостовима, саобраћајницама) који их чине нарочито подложним оштећењима уколико се земљотрес деси (Naveen, 2019). Тиме се добија оцена како учесталости, тако и интензитета ризика земљотреса, и омогућује предузимање превентивних мера ради минимизације штетних последица.

Уз помоћ сателита, AI системи такође могу да предвиђају кретање и интензитет олујних ветрова. Loridan, Crompton & Dubossarsky (2017) користе машинско учење за симулацију олујних ветрова и креирање мапа ризика које показују вероватноћу достизања задате брзине ветра по појединим подручјима. У сарадњи са NASA-ом, у Сједињеним Америчким Државама развијена је платформа за оцену интензитета урагана на бази машинског учења (енгл. *Deep Learning-based Hurricane Intensity Estimator*), која се показала шест пута бржом од конвенционалних метода праћења олујних ветрова (Naveen, 2019).



Слично, апликације које функционишу на бази вештачке интелигенције користе податке о количини падавина и нивоу речних водостаја за симулацију поплава у циљу њиховог предвиђања и мониторинга. На пример, применом техника машинског учења, Choi и сар. (2018) су развили модел за предвиђање штета услед поплава који је заснован на историјским подацима о штетама и хидрометеоролошким *Big Data*. AI модел компаније *Google* који је имплементиран у Индији предвиђа не само где и када може да настане поплава, већ и са коликим интензитетом штета (Сее, 2019). Модели предвиђања поплава који су засновани на машинском учењу и вештачкој интелигенцији показују већу тачност од традиционално коришћених, физички заснованих хидролошких (Abbot & Marohasy, 2014) и статистичких модела (Xu & Li, 2002).

Нове технологије такође проширују домете у моделирању катастрофалних ризика од стране (ре)осигуравајућих компанија. Иако не мењају постулате постојећих модела мерења ризика, оне доприносе њиховом квалитету, кроз бољу резолуцију, детаљније мапе ризика и већу доступност података (Yu, Yang & Li, 2018, стр. 10). Захваљујући *Big Data* решењима, подаци о штетама, осигураним објектима, условима осигурања и реосигурања се интегришу и великом брзином процесуирају. Као резултат, добија се оцена ризика не само на нивоу региона или града, већ на нивоу адресе (Minog, 2013). Тиме се омогућује прецизније одређивање максималне могуће штете, премије осигурања и резерви које ће бити адекватне за покриће стварних ризика, што позитивно утиче на солвентност (ре)осигуравача. Осим тога, нове технологије, попут дрона и сензора, омогућују бржу процену штета након реализације катастрофалних ризика, као и развој нових производа осигурања којима се ти ризици покривају (нпр. индексно осигурање у пољопривреди).

Упркос прецизности и ефикасности која је утврђена у теорији и потврђена у пракси, модели мерења катастрофалних ризика засновани на машинском учењу и вештачкој интелигенцији имају одређена ограничења. Као прво, њихов квалитет пресудно зависи од квалитета података из којих се „учи“ о катастрофама. Ако су ти подаци оскудни или нерепрезентивни, учење неће бити потпуно, па самим тим ни перформансе тих модела неће бити задовољавајуће. Стога је за откривање знања важно обогаћивање података, које може бити остварено интерполацијом недостајућих података помоћу вештачких неуронских мрежа (Tsai & Yang, 2012), или њиховим повраћајем на бази моделирања зависности штетних догађаја (Sivapalan, Blöschl, Merz & Gutknecht, 2005).

Као друго, нису сви алгоритми машинског учења подједнако способни за извршавање различитих задатака. С тим у вези, присутан је тзв. „проблем генерализовања“, као могућност да систем не може да предвиди догађаје за које није „истрениран“, тј. који нису обухваћени расположивим скупом опсервација (Mosavi, Ozturk & Chau, 2018). Због тога је веома важно да избор алгоритма буде прилагођен конкретної ситуацији.

Као треће, бројни су изазови повезани са самом употребом *Big Data* у сврхе мерења катастрофалних ризика и управљања њима. Они се тичу ограничења у приступу подацима, аналитичких проблема, лимитираних људских и технолошких капацитета и етичких ризика. Упркос њиховом потенцијалном значају за целокупну друштвену

заједницу, велики део *Big Data* остаје у рукама приватних корпорација, које их користе за сопствене сврхе и не деле лако са јавношћу. И поред њиховог обима, није увек једноставно обезбедити репрезентативност *Big Data* и репликабилност добијених налаза. Неразвијене и земље у развоју оскудевају у капацитетима за трансфер и експертима за анализу *Big Data*. Коначно, употреба *Big Data* покреће низ етичких питања на тему заштите приватности (Data-Pop Alliance, 2015, стр. 24-30).

## ЗАКЉУЧАК

У раду се анализирају савремене тенденције мерења катастрофалних ризика у светлу четврте индустријске револуције. Природне катастрофе није могуће избећи али је, захваљујући технолошком напретку, могуће умањити њихове последице. Нове технологије, попут аналитике великих података, вештачке интелигенције и машинског учења, доприносе унапређењу мерења катастрофалних ризика и управљања њима. Модели мерења катастрофалних ризика који се развијају у ери дигитализације одликују се високом тачношћу и брзином предвиђања катастрофалних догађаја и њихових штетних последица. Користи од оваквих модела уживају и (ре)осигуравајуће компаније, будући да они омогућају прецизније одређивање премије осигурања у складу са стварним ризицима.

Ипак, треба имати у виду да нове технологије, попут вештачке интелигенције, само опонашају алгоритам људског расуђивања. Њихове компаративне предности јесу брзина и способност обраде велике количине података, али оне нису непогрешиве у предвиђању будућих догађаја, нарочито у условима када се мења природа фактора ризика. Поузданост прогноза зависи од квалитета података на којима се оне заснивају. Будући да се ти подаци односе на догађаје који су се већ десили, ефекти климатских промена на учесталост и интензитет природних катастрофа остају изван домета нових технологија, због чега није могуће предвидети дугорочне трендове у погледу понашања катастрофалних ризика. Такође, за разлику од људи, ове технологије не поседују креативност и способност критичког размишљања које су претпоставка за рађање нових идеја, већ само извршавају добијене задатке. Стога, у процесу мерења катастрофалних ризика и управљања њима, нове технологије могу бити само помоћно средство, али никако не и замена за човека.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abbot, J., & Marohasy, J. (2014). Input selection and optimisation for monthly rainfall forecasting in Queensland, Australia, using artificial neural networks. *Atmospheric Research*, 138, 166-178.
- [2] Banks, E. (2005). *Catastrophic Risk – Analysis and Management*. England. John Wiley & Sons Ltd.
- [3] Cee, S. (2019). Using Big Data To Predict Natural Disasters. *Deep Tech Wire*. Преузето 8. јуна са сајта: <http://deeptechwire.com/using-big-data-to-predict-natural-disasters>
- [4] Choi, C., Kim, J., Kim, J., Kim, D., Bae, Y., & Hung Soo, K. (2018). Development of Heavy Rain Damage Prediction Model Using Machine Learning Based on Big Data. *Advances in Meteorology*, (2018), 1-11.
- [5] D'Arcy, S. P., Gorrivett, R. W., Herbers, J. A., & Hettinger, T. E. (1997). Building a Dynamic Financial Analysis Model that Flies. *Contingencies Magazine*.
- [6] Data-Pop Alliance (2015). Big Data for Resilience: Realising the Benefits for Developing Countries. *Synthesis repor, September2015*.

- [7] Diers, D. (2009), Stochastic modelling of catastrophe risks in internal models. *German Risk and Insurance Review (GRIR)*, 5(1).
- [8] Embrechts, P., Klüppelberg, C., & Mikosch, T. (2008). *Modelling extremal events for Insurance and Finance*. Berlin: Springer-Verlag.
- [9] Garrick, B.J. (2009). *Quantifying and Controlling Catastrophic Risks*. Elsevier Inc.
- [10] Janković, D., & Tešić, N. (2015). Major Cat Losses in Past Two Decades. *Catastrophic Risks and Sustainable Development*. Kočović, J., Jovanović Gavrilović, B., Đukić, V. (eds.), Belgrade: Faculty of Economics, University of Belgrade, ISBN: 978-86-403-1418-3, Chapter 10, pp.161-180.
- [11] Kaufmann, R., Gadmer, A., & Klett, R. (2001) Introduction to dynamic financial analysis. *ASTIN Bulletin*, 31 (1), 213–249.
- [12] Korn, R., Korn, E., & Kroisandt, G. (2010). *Monte Carlo Methods and Models in Finance and Insurance*, CHAPMAN & HALL/CRC Financial Mathematics Series.
- [13] Кочовић, Ј., Пауновић, Б., & Јововић, М. (2014). Могућности управљања катастрофалним ризицима. *Нови економист*, VIII(16), 7-15.
- [14] Loridan, T., Crompton, R. P., & Dubossarsky, E. (2017). A Machine Learning Approach to Modeling Tropical Cyclone Wind Field Uncertainty. *Monthly Weather Review*, 145, 3203-3221.
- [15] Lundberg, I. (1903). *Approximerad framställning af sannolikhetsfunctionen. II. Återförsäkring af kollektivrisken*. Almqvist & Wiksell, Uppsala, Sweden.
- [16] Mikosch, T. (2004). *Non-Life Insurance Mathematics: An Introduction with Stochastic Processes*. Springer, Berlin, Germany.
- [17] Minor, K. (2013). Enhancing Catastrophe Risk Modeling in Insurance. *IBM Big Data & Analytics Blogs*. Преузето 6. јуна са сајра: <https://www.ibmbigdatahub.com/blog/enhancing-catastrophe-risk-modeling-insurance>
- [18] Mosavi, A., Ozturk, P., & Chau, K.-W. (2018). Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review. *Water*, 10(11), 1-40.
- [19] Naveen, J. (2019). How AI Can And Will Predict Disasters. *Forbes*. Преузето 6. јуна са сајра: <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/03/15/how-ai-can-and-will-predict-disasters/#6629ba515be2>
- [20] Rouet-Leduc, B., Hulbert, C., Lubbers, N., Barros, K., Humphreys, C. J., & Johnson, P. A. (2017). Machine Learning Predicts Laboratory Earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 44, 9276-9282.
- [21] Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum.
- [22] Schwab, K., & Davis, N. (2018). *Shaping the Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum.
- [23] Sivapalan, M., Blöschl, G., Merz, R., & Gutknecht, D. (2005). Linking flood frequency to long-term water balance: Incorporating effects of seasonality. *Water Resources Resources*, 41.
- [24] Swiss Re, Sigma No. 2, (2015). *Natural catastrophes and man-made disasters in 2014: convective and winter storms generate most losses*.
- [25] Swiss Re, Sigma No. 2, (2019). *Natural catastrophes and man-made disasters in 2018: „secondary“ perils on the frontline*.
- [26] Swiss Re, Sigma No.1, (2010.). *Natural catastrophes and man-made disasters in 2009: catastrophes claim fewer victims, insured losses fall*.
- [27] Tešić, N., & Paunović, M. (2018). Possibilities of Measuring Catastrophic Risks. *Insurance in the Post-crisis Era*. Kočović, J., Jovanović Gavrilović, B., Boričić, B., Radović Marković, M. (eds.), Belgrade: Faculty of Economics, University of Belgrade, ISBN 978-86-403-1548-7, Chapter 15, pp. 253-273.
- [28] Thywissen, K., (2006.), *Components of Risk – A Comparative Glossary*, Studies of the University: Research, Counsel, Education, Publication Series of UNU-EHS, No. 2.
- [29] Tsai, L. T., & Yang, C.-C. (2012). Improving measurement invariance assessments in survey research with missing data by novel artificial neural networks. *Expert Systems with Applications*, 39, 10456-10464.

- [30] Xu, Z., & Li, J. (2002). Short-term inflow forecasting using an artificial neural network model. *Hydrological Processes*, 16, 2423-2439.
- [31] Yu, M., Yang, C., & Li, Y. (2018). Big Data in Natural Disaster Management: A Review. *Geosciences*, 8(165), 1-26.

## SUMMARY

Realization of catastrophic risks leads to dramatic human losses, the collapse of the economic and social infrastructure and threats to the environment. Therefore, measuring of these risks, in order to adequately manage them, is a prerequisite for sustainable development. Classical actuarial methods are not adequate for the measurement of catastrophic risks, because they are characterized by low frequency and high intensity of losses. Bearing in mind the scarce information about the factors that determine the probability of occurrence of a disaster and the simultaneous need to identify all potential sources of loss, it is clear that measuring of this type of risk is a major challenge. Through the integration and synthesis of all relevant scientific fields, data and engineering knowledge, stochastic models enable the quantification of catastrophic risks.

This paper deals with an analysis of the contribution of digitalization to the possibilities of measuring catastrophic risks. New technologies, such as big data, artificial intelligence and machine learning, have already demonstrated their predictive powers in various fields. Their application for the purposes of natural disaster forecasting can save many lives and allow timely action to be taken to reduce material losses. In the digital age, access to new and extensive sources of real-time data on catastrophic events has been made available. Sophisticated technologies enable these complex, fragmented data to be translated into information that will be useful for managing catastrophic risks. Using machine learning and data from the past, artificial intelligence based systems can be "taught" what factors contribute, or what events precede disasters, to predict their occurrence in the future, based on Big Data analysis in the present.

The aim is to highlight the potential and limitations of new technologies that can be used for modeling catastrophic risks, primarily the risk of natural disasters. The accuracy and efficiency of catastrophic risks models that are based on machine learning and artificial intelligence has been confirmed in practice. However, their quality crucially depends on the quality of the data from which they "learn" about disasters. If this data is scarce or unrepresentative, the learning will not be complete and therefore the performance of these models will not be satisfactory. Not all machine learning algorithms are equally capable of performing different tasks. The so-called "problem of generalization" is present, as the possibility that the system cannot predict events not covered by the available set of observations. Finally, a number of challenges are related to the use of Big Data. They involve restrictions on access to data, analytical problems, limited human and technological capacities and ethical risks. Because of these limitations, new technology can only be an aid in the process of measuring and managing catastrophic risks, but not a replacement for the man.