

Stanovenie subjektívnej pravdepodobnosti pri hodnotení podnikateľských rizík

Determining the Subjective Probability of the Business Risks Evaluation

ABSTRAKT: Stanovenie objektívnej pravdepodobnosti a aj jej použitie v ekonomickej praxi je problematické. Je možné poukázať na dva problémy. Po prvé, výpočet objektívnej pravdepodobnosti je závislý na dostatočnom množstve zaznamenaných údajov. Po druhé, v ekonomickej praxi je mnoho jedinečných, neopakovateľných udalostí, kde sú informácie odvodzované zo situácií podobných len čiastočne. Preto je opodstatnené sa venovať postupom stanovenia subjektívnej pravdepodobnosti. Článok sa zaoberá možnosťami použitia Dempster-Shaferovej teórie na stanovenie veľkosti pravdepodobnosti vzniku negatívnych udalostí. Cieľom článku je poukázať na prínosy a obmedzenia Dempster-Shaferovej teórie v rámci posudzovania podnikateľských rizík. Príspevok bol prezentovaný v rámci medzinárodnej vedeckej konferencie súdneho inžinierstva Expert Forensic Science 2018.

KLÍČOVÁ SLOVA: podnikateľské riziká, pravdepodobnosť, Dempster-Shaferova teória

ABSTRACT: Determining objective probability and its use in economic practice is problematic. Two problems can be emphasised. Firstly, the calculation of the objective probability depends on a sufficient number of recorded data. Secondly, the economic practice knows a lot of unique events where the information is derived from the situations similar only partially. Therefore, it is justifiable to address a procedure for determining subjective probability. The article deals with the possibilities of using Dempster-Shafer theory to determine the probability of occurrence of negative events. The aim of this article is to point out the benefits and limitations of Dempster-Shafer theory in business risk assessment. The paper was presented at the international scientific conference of Expert Forensic Science 2018.

KEYWORDS: business risks, probability, Dempster-Shafer theory

1. ÚVOD

Termín riziko, odhliadnuc od jeho rôznych definícií, je úzko spojený s neistotou. Neistota vzniku je vyjadrená prostredníctvom pravdepodobnosti a neistota priebehu ako kvalitatívne alebo kvantitatívne vyjadrenie dôsledku na posudzovaný subjekt. Hodnotenie rizík je preto spojené s potrebou opísať a vyjadriť neistotu vzniku a priebehu negatívnych udalostí (krízových javov) stanovením veľkosti rizika.

Miera rizika sa počíta ako súčin pravdepodobnosti vzniku negatívnej udalosti a jej dôsledku [1]. Stanovená veľkosť pravdepodobnosti a hodnota dôsledkov negatívnej udalosti majú vplyv na výslednú mieru rizika, ktorá ovplyvňuje rozhodnutia podnikateľských subjektov. Zatiaľ čo pri určení hodnoty dôsledkov má podnikateľský subjekt väčšinou prehľad o hodnote aktív, pri odhade pravdepodobnosti vzniku udalosti nemá vždy potrebné informácie. Preto je potrebné sa zaoberať rôznymi spôsobmi odhadu pravdepodobnosti, ktorých použitie závisí od konkrétneho

typu posudzovanej udalosti a informácií, ktorými disponuje podnik. Rozlišujú sa dva základné typy neistoty a to objektívna a subjektívna neistota. Význam rozlíšenia dvojitej povahy neistoty spočíva predovšetkým vo vyjadrení neistoty ako pravdepodobnosti vzniku posudzovanej udalosti.

Objektívne vnímanie pravdepodobnosti je typické pre klasickú a štatistickú teóriu pravdepodobnosti. Za problematické sa považuje predovšetkým použitie matematického vzorca na výpočet objektívnej pravdepodobnosti v situáciách, ktoré sa viažu na subjektívnu neistotu. Mnohé negatívne udalosti v podnikateľskom prostredí sú na jednej strane neobvyklé a na druhej strane pre každý podnikateľský subjekt niečím špecifické. To znamená, že častokrát nie je možné stanoviť pravdepodobnosť vzniku udalosti, pričom by sa vychádzalo z klasickej alebo štatistickej teórie pravdepodobnosti. To vytvára potrebu a opodstatnenie sa zaoberať rôznymi spôsobmi odhadu subjektívnej pravdepodobnosti. Subjektívnym chápaním pravdepodobnosti sa zaoberá sa Bayesova a Dempster-Shaferova teória [2].

Dodáno autorkami do redakcie 1. 3. 2018. • Recenzní řízení od 9. 3. do 19. 3. 2018.

Ing. Denisa Janasová, Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra krízového manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, e-mail: denisa.janasova@fbi.uniza.sk
Doc. Ing. Stanislava Strelcová, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra krízového manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, e-mail: stanislava.strelcova@fbi.uniza.sk

Bayesovu pravdepodobnosť je vhodné používať pri modelovaní náhodných udalostí spojených s objektívnou neistotou a to v tom prípade, ak nie sú k dispozícii potrebné údaje. Hodnotiaci osoba by však mala disponovať znalosťami o vlastnostiach a možnostiach priebehu posudzovanej udalosti. Ako vhodný prístup na výpočet pravdepodobnosti vzniku udalosti, ktorá má základ v subjektívnej neistote, sa javí Dempster-Shaferova teória.

2. DEMPSTER-SHAFEROVA TEÓRIA

Dempster-Shaferova teória pravdepodobnosti, nazývaná aj teória dôkazov, modeluje neistotu prostredníctvom domniek, ktoré má expert vzhľadom na posudzovanú udalosť [3], [4]. Tieto domnienky sú formulované na základe zistených alebo získaných dôkazov. Pri výpočte pravdepodobnosti sa nevychádza z tradičného pravdepodobnostného prístupu, tzn. výpočet v podobe relatívnej početnosti skúmaného javu a taktiež nemusia platiť Kolmogorove axiomy. Výpočet pravdepodobnosti sa opiera najmä o teóriu množín a nadväzuje aj na kombinatoriku. V Dempster-Shaferovej teórii sa rozlišujú štyri základné termíny a to potenčná množina, základné priradenie, miera domnienky a miera vierohodnosti.

Množina U , nazývaná aj ako rámec zistenia, je tvorená základnými, atomickými hypotézami. Potenčná množina 2^U je množina všetkých podmnožín množiny U . Lubovoľná podmnožina (obsahujúca jednu alebo viacero hypotéz) z 2^U je považovaná za špecifickú hypotézu. Základné priradenie, miera domnienky a miera vierohodnosti sú definované na potenčnej množine [5], [6], [7].

Základné priradenie $m(h_i)$ predstavuje mieru presvedčenia analytika, ktorá je priradená prvkom potenčnej množiny 2^U . Hodnota základného priradenia $m(h_i)$ je v intervale $\langle 0,1 \rangle$ a platí $\sum m(h_i) = 1$, kde $h_i \in U$. S ohľadom na vyjadrenie subjektívnej neistoty, každá nepriradená domnienka je priradená k celej množine hypotéz z 2^U , tzn. nevzťahuje sa na negáciu. Aj keď sa v Dempster-Shaferovej teórii neodvodzuje negácia hypotézy na základe domnienky o platnosti hypotézy, negáciu hypotézy nevylučuje. O negácii $m(\neg h_i)$ platí $m(h_i) + m(\neg h_i) \leq 1$. Na rozdiel od Bayesovej teórie nemusí byť súčet platnosti hypotézy a jej negácie rovný 1. Pri výpočte miery domnienky $Bel(h_i)$ a miery vierohodnosti $Pl(h_i)$ sa vychádza zo základného priradenia $m(h_i)$.

Domnienková funkcia $Bel(h_i)$ vyjadruje mieru domnienky, ktorú máme o hypotéze. Zlučuje základné priradenie všetkých podmnožín (resp. zložiek, hypotéz), ktoré obsahuje. $Bel(h_i)$ predstavuje spodnú hranicu intervalu, v ktorom sa nachádza pravdepodobnosť danej hypotézy. Pre domnienkovú funkciu $Bel(h_i)$ platí [5], [6], [8]:

$$Bel(h_i) = \sum_{h_j \subseteq h_i} m(h_j). \quad (1)$$

Miera vierohodnosti $Pl(h_i)$ vyjadruje nakoľko by sme verili hypotéze h_i , ak by všetky dôkazy, ktoré môžu podporiť túto hypotézu, by ju aj podporili. Miera vierohodnosti predstavuje hornú hranicu intervalu dôvery v hypotézu. Pre $Pl(h_i)$ platí [5], [6], [8]:

$$Pl(h_i) = \sum_{h_j \cap h_i \neq \emptyset} m(h_j). \quad (2)$$

Potom interval, ktorý predstavuje dôveru v danú hypotézu je $\langle Bel(h_i), Pl(h_i) \rangle$, pričom rozdiel $Pl(h_i) - Bel(h_i)$ vyjadruje mieru neistoty (rozpätie intervalu).

Dempster-Shaferova teória umožňuje kombinovať aj názory viacerých expertov. Rovnako umožňuje prehodnotiť základné priradenie $m(h_i)$, pokiaľ sú zistené nové skutočnosti o posudzovanej udalosti. Vychádza sa pritom z tzv. Dempsterovho kombinačného pravidla [5], [6], [9]:

$$m_{AB}(h_k) = \frac{\sum_{h_i \cap h_j = h_k} m_A(h_i) \cdot m_B(h_j)}{\sum_{h_i \cap h_j \neq \emptyset} m_A(h_i) \cdot m_B(h_j)} = \frac{\sum_{h_i \cap h_j = h_k} m_A(h_i) \cdot m_B(h_j)}{K}, \quad (3)$$

alebo ak súčet prienikov základného priradenia hypotéz $h_i \cap h_j = 0$ (v menovateli zlomku) potom:

$$m_{AB}(h_k) = \frac{\sum_{h_i \cap h_j = h_k} m_A(h_i) \cdot m_B(h_j)}{1 - \sum_{h_i \cap h_j = \emptyset} m_A(h_i) \cdot m_B(h_j)} = \frac{\sum_{h_i \cap h_j = h_k} m_A(h_i) \cdot m_B(h_j)}{1 - K}, \quad (4)$$

Symbol K v menovateli vyjadruje, do akej miery sú názory nezávislých expertov, prípadne zistenie novej skutočnosti voči pôvodnému presvedčeniu konfliktné. Ak $K = 0$, potom stanovené základné priradenia sú nezlučiteľné (úplne si odporujú). V prípade, že sú dôkazy dostatočné na priradenie pravdepodobnosti jednotlivým disjunktným hypotézam, potom základné priradenie zodpovedá klasickej pravdepodobnosti. To znamená, že základné priradenie $m(h_i)$ je stanovené len pre atomické hypotézy a potenčná množina zodpovedá základnému rámcu a vtedy $m(h_i) = Bel(h_i) = Pl(h_i)$.

2.1 Aplikácia Dempster-Shaferovej teórie a jej porovnanie s Bayesovou teóriou subjektívnej pravdepodobnosti na modelovom príklade

Pre porovnanie metód bolo vybrané riziko poklesu dopytu po konkrétnom výrobku. V modelovom príklade sú traja analytici (experti), ktorí stanovili tri, vzájomne disjunktné hypotézy podmieňujúce vznik poklesu dopytu. Stanovenými hypotézami sú vstup novej konkurencie h_1 , pokles ceny substitučního výrobku h_2 a pokles významu, užitočnosti výrobku pre zákazníka h_3 . Tieto tri hypotézy sú analytikmi považované za možné príčiny poklesu dopytu. Údaje a informácie o vlastnostiach a priebehu posudzovaného rizika nie sú dostupné, prípadne zaznamenané. Stanovená miera domnienky (základné priradenie $m(h_i)$) je rovnako ako samotné hypotézy odhadnuté analytikmi A, B a C na základe osobných znalostí, skúseností, informácií a dôkazov. Miera domnienky, ktorú možno prirovnať k pravdepodobnostnej hodnote, predstavuje subjektívny názor analytikov na stanovené hypotézy (tab. 1).

Základné priradenie $m(h_i)$ používané v Dempster-Shaferovej teórii je možné z teoretického hľadiska prirovnať k miere presvedčenia používanej v Bayesovej teórii. Rozdiel medzi základným priradením a mierou presvedčenia je v tom, že základné priradenie je definované na potenčnej množine 2^U . To dovoľuje

Tab. 1 Základné priradenie analytikov pre hypotézy (Dempster-Shaferova teória).
Table 1 Basic probability assignment of analysts to the hypotheses (Dempster-Shafer theory).

Základné priradenie analytikmi	Hypotéza							Σ
	h_1	h_2	h_3	$h_1 h_2$	$h_1 h_3$	$h_2 h_3$	$h_1 h_2 h_3$	
$m_A(h_i)$	0,3		0,2	0,3		0,2		1
$m_B(h_i)$		0,3		0,3		0,3	0,1	1
$m_C(h_i)$	0,2		0,4	0,1	0,3			1

stanoviť základné priradenie k viacerým hypotézam spoločne, bez nutnosti jej rozdelenia medzi základné hypotézy (h_1, h_2 a h_3) vzhľadom na neznalosť informácií. V Dempster-Shaferovej teórii sa základné priradenie stanovené pre zloženú hypotézu (ako sú napr. hypotézy $h_1 h_2, h_1 h_3, h_2 h_3, h_1 h_2 h_3$) chápe ako samostatná hypotéza. Pre každú základnú hypotézu, z ktorých sa skladá zložená hypotéza, potom platí, že jej pravdepodobnostná hodnota je buď 0 alebo hodnota základného priradenia určená zloženou hypotézou. Správna možnosť je len jedna, avšak analytik nemá dostatok dôkazov, ktoré by poukazovali práve na jednu zo základných hypotéz, z ktorých sa skladá zložená hypotéza. V Bayesovej teórii by pravdepodobnostná hodnota určená napríklad pre zloženú hypotézu $h_1 h_2$ bola rozdelená rovným dielom medzi základné hypotézy h_1 a h_2 . Pre porovnanie, potom v Dempster-Shaferovej teórii pre hypotézu h_1 , ktorá je súčasťou zloženej hypotézy $h_1 h_3$, je odhadovaná miera presvedčenia 0 alebo 0,3; v Bayesovej teórii by bola hypotéze h_1 priradená pravdepodobnostná hodnota 0,15. Nasledujúca tabuľka obsahuje priradenie pravdepodobnostnej hodnoty pre modelový príklad, ak by sa vychádzalo z Bayesovej teórie.

Nerozhodnosť o platnosti dôkazu len pre jednu disjunktnú hypotézu, je riešená rozdelením miery presvedčenia medzi viaceré hypotézy. To v konečnom dôsledku znižuje odhadovanú pravdepodobnosť pre platnú hypotézu a naopak, zvyšuje odhadovanú pravdepodobnosť pre neplatné hypotézy. O neplatných hypotézach sa predtým na základe nedostatočných informácií uvažovalo ako o platných.

Keďže názory analytikov sú rozdielne, potrebné je rozhodnúť o jednotnej pravdepodobnostnej hodnote (chápanej ako miera presvedčenia v Bayesovej teórii alebo základné priradenie v Dempster-Shaferovej teórii) pri rešpektovaní názorov všetkých expertov. Kompromis názorov analytikov v Dempster-Shaferovej teórii je dosahovaný použitím Dempsterovho kombinačného pravidla, tzn. podľa vzťahu (3) alebo (4). V Bayesovej teórii je možné postupovať dvoma spôsobmi. Buď sa vychádza zo základných agregáčnych metód, v tomto prípade z aritmetického priemeru odhadovaných pravdepodobnostných hodnôt, alebo sa použijú pravidlá rozhodovania za neistoty. Medzi najpoužívanejšie pravidlá rozhodovania za neistoty patrí pravidlo minimax, maximin, Laplaceovo, Hurwitzovo a Savangeovo [10].

2.1.1 Kompromis názorov analytikov na hodnotu pravdepodobnosti hypotéz

Dempster-Shaferova teória umožňuje kombinovať názory viacerých analytikov pričom nevychádza zo základných agregáčnych metód. Názory nezávislých analytikov, prípadne získanie nových dôkazov, sa spájajú s Dempsterovým kombinačným pravidlom definovaným vzťahom (2) alebo (3). Potrebné je určiť veľkosť koeficientu K . Podľa veľkosti koeficientu K sa vyberá jeden z dvoch uvedených vzťahov. Pre modelový príklad (tab. 1) je hodnota koeficientu $K=0,294$. Pre určenie kompromisu názorov analytikov na hodnotu základného priradenia $m(h_i)$ pre základné ale aj zložené hypotézy bude použitý vzťah (3). Použitím Dempsterovho kombinačného pravidla je základné priradenie stanovené pre štyri hypotézy. Podmienka rovnosti súčtu základného priradenia jednej je splnená (tab. 3, $m_{ABC}(h_k)$).

Až po dosiahnutí konsenzu medzi základným priradením analytika A, B a C je možné pristúpiť k výpočtu miery domnienky $Bel(h_k)$ podľa vzťahu (1) a potom miery vierohodnosti $Pl(h_k)$ podľa vzťahu (2). Miera domnienky $Bel(h_k)$ a miera vierohodnosti $Pl(h_k)$ predstavujú hranice intervalu presvedčenia o platnosti stanovených hypotéz. Tieto hranice intervalu sa počítajú práve z kombinácie základného priradenia analytikov $m_{ABC}(h_k)$. Interval $\langle Bel(h_k), Pl(h_k) \rangle$ predstavuje vyjadrenie (hodnotu) dôvery v danú hypotézu, pričom rozdiel $Pl(h_k) - Bel(h_k)$, tzn. rozpätie intervalu vyjadruje mieru neistoty (mieru pochybností, nevedomosti) voči danej hypotéze.

V Bayesovej teórii subjektívnej pravdepodobnosti je možné kompromis názorov analytikov dosiahnuť použitím pravidiel rozhodovania za neistoty. Pri všetkých pravidlách sa vychádza z hodnôt rozhodovacej matice. Riadky matice obsahujú varianty, činnosti, alebo aktivity. Stĺpce matice predstavujú stavy okolia, vonkajšie podmienky ovplyvňujúce úspešnosť očakávaného výsledku pri implementácii daných variant. Pre použitie v modelovom príklade je možné rozhodovaciu maticu upraviť. Potom stavy okolia budú považované za jednotlivé hypotézy a varianty za názory analytikov A, B a C na tieto hypotézy. Pravidlá sú použité na hodnoty určené v tab. 2.

Pri použití pravidla minimaxa sa vyberá variant, v tomto prípade názor toho analytika, ktorý pri najviac pravdepodobnej hypotéze (nepriaznivý stav), odhaduje nižšiu pravdepodobnosť jej vzniku. Použitie tohto pravidla poukazuje na výber odhadu

Tab. 2 Miera presvedčenia analytikov pre stanovené hypotézy (Bayesova teória).
Table 2 – Confidence measure of analysts to the hypotheses (Bayesian theory).

Analytik	Hypotéza			Σ
	h_1	h_2	h_3	
A	$0,3 + 0,15 = 0,45$	$0,15 + 0,1 = 0,25$	$0,2 + 0,1 = 0,3$	1
B	$0,15 + 0,03 = 0,183$	$0,3 + 0,15 + 0,15 + 0,03 = 0,63$	$0,15 + 0,03 = 0,183$	1
C	$0,2 + 0,05 + 0,15 = 0,4$	$0,05 = 0,05$	$0,4 + 0,15 = 0,55$	1

Tab. 3 Základné priradenie, miera domnienky a miera vierohodnosti hypotéz.
Table 3 Basic probability assignment, measure of belief and measure of plausibility of the hypotheses.

	Hypotéza							Σ
	h_1	h_2	h_3	$h_1 h_2$	$h_1 h_3$	$h_2 h_3$	$h_1 h_2 h_3$	
$m_{ABC}(h_k)$	0,4489	0,1293	0,3810	0,0408				1
$Bel(h_k)$	0,4489	0,1293	0,3810	0,6190	0,8299	0,5103	1	–
$Pl(h_k)$	0,4897	0,1701	0,3810	0,6190	0,8299	0,5103	1	–
$Pl(h_k) - Bel(h_k)$	0,0408	0,0408	0	0	0	0	0	–

pravdepodobnosti analytika B. Rovnako by tomu bolo aj pri použití pravidla maximaxima, podľa ktorého by bol vybraný analytik, ktorý naopak pre najmenej pravdepodobnú hypotézu (priaznivý stav), odhaduje nižšiu pravdepodobnosť. Pri použití týchto pravidiel je potrebné rozlišovať, čo z hľadiska veľkosti pravdepodobnosti je priaznivý a čo nepriaznivý stav.

Laplaceovo pravidlo je založené na porovnaní priemerov odhadov. V takýchto prípadoch nie je možné použiť Laplaceovo pravidlo, keďže priemer súčtu pravdepodobností hypotéz stanovených expertmi je rovnaký. Bayesova pravdepodobnosť (rovnako aj Dempster-Shaferove základné priradenie $m(h_i)$) rešpektuje Kolmogorov axióm, tzn. súčet pravdepodobností je rovný 1.

Hurwitzovo pravidlo pracuje s číselným vyjadrením optimizmu alebo pesimizmu rozhodovateľa, ktorý sa pohybuje v intervale $<0; 1>$. Pri pesimistickom postoji rozhodovateľ volí hodnoty z intervalu $<0; 0,5>$ a pri optimistickom postoji z intervalu $(0,5; 1>$. Vzorec na výpočet porovnávaných hodnôt pri uplatnení daného pravidla je uvedený v [11]. Podľa preferenčného postoja (neutrálny, pesimistický, optimistický) sa vyberie odhad toho experta, ktorý dosahuje najnižšie hodnoty (podľa kritéria nákladového typu). Vo všetkých troch postojoch (pesimistický, neutrálny, pesimistický) sa za vhodné považuje ďalej pracovať s odhadom pravdepodobnosti od analytika C (ak parameter β pre pesimistický postoj je stanovený na 0,25; pre neutrálny postoj na 0,5 a pre optimistický postoj na 0,75).

Savageovo pravidlo vychádza z poznania možných strát. Preto pri výbere odhadu pravdepodobnosti sa zostavuje matica strát. Od stanovených hodnôt pravdepodobnosti sa odpočíta najmenšia hodnota pravdepodobnosti počítanej hypotézy. Vyberie sa odhad toho analytika, pri ktorom je najmenšia hodnota maximálnych rozdielov pravdepodobnosti. V tomto prípade by sa vybral odhad pravdepodobnosti analytika A.

Použitie uvedených pravidiel rozhodovania za neistoty poukazuje nejednoznačne na výber odhadu pravdepodobnosti od jedného z troch analytikov. Pri prispôbení a použití vyššie uvedených pravidiel zohráva významnú úlohu sklon rozhodovateľa k pesimizmu alebo optimizmu. A to nielen pri implementácii jednotlivých pravidiel, ale aj podľa chápania hodnoty pravdepodobnosti (kritérium nákladového alebo výnosového typu). Preto je možné konštatovať, že pri rozhodnutí o hodnote pravdepodobnosti od dvoch a viacerých analytikov bude využívaný skôr aritmetický priemer hypotéz. V tomto prípade hodnota pravdepodobnosti pre hypotézy by bola $h_1 = 0,3\bar{4}$; $h_2 = 0,3\bar{1}$ a $h_3 = 0,3\bar{4}$.

3. DISKUSIA

Subjektívna pravdepodobnosť sa odhaduje na základe dôkazov, znalostí a skúseností. Tie môžu priamo ale aj nepriamo poukazovať a súvisieť s posudzovanou udalosťou. Vhodné je pri neznalosti, ktorá z hypotéz nastane, prikloniť sa k viacerým hypotézam. To umožňuje Dempster-Shaferova teória. Bayesova teória rozdeľuje túto nejednoznačnú mieru presvedčenia jednotlivito medzi hypotézy. Porovnanie (tab. 4) poukazuje na značné rozdiely medzi pravdepodobnosťou stanovenou jednotlivými analytikmi a pravdepodobnosťou, s ktorou by sa malo pracovať pri výpočte miery rizika. Tieto rozdiely spočívajú predovšetkým v odlišnom postupe a výpočte kombinácie odhadu pravdepodobnosti od viacerých analytikov.

V Dempster-Shaferovej teórii sa za sporné považuje použitie Dempsterovho kombinačného pravidla. Ak sú názory expertov protikladné, tento konflikt je ignorovaný a miera presvedčenia je priradená hypotéze, ktorá má podporu viacerých analytikov.

Tab. 4 Porovnanie hodnôt pravdepodobnosti stanovených hypotéz.
Table 4 Probability values of the stated hypotheses – comparison.

Stanovená pravdepodobnosťná hodnota hypotéz v Dempster-Shaferovej / Bayesovej teórii							
Hypotéza	h_1	h_2	h_3	$h_1 h_2$	$h_1 h_3$	$h_2 h_3$	$h_1 h_2 h_3$
Analytik A	0,3 / 0,45	– / 0,25	0,2 / 0,25	0,3 / –	– / –	0,2 / –	– / –
Analytik B	– / 0,18 $\bar{3}$	0,3 / 0,6 $\bar{3}$	– / 0,18 $\bar{3}$	0,3 / –	– / –	0,3 / –	0,1 / –
Analytik C	0,2 / 0,4	– / 0,05	0,4 / 0,55	0,1 / –	0,3 / –	– / –	– / –
Komparácia názorov analytikov na hodnotu pravdepodobnosti hypotéz (Bayesova teória)							
Aritmetický priemer	0,3 $\bar{4}$	0,3 $\bar{1}$	0,3 $\bar{4}$	–	–	–	–
Komparácia názorov analytikov na hodnotu pravdepodobnosti hypotéz (Dempster-Shaferova teória)							
$\langle Bel(h_k); Pl(h_k) \rangle$	$\langle 0,4489;$ $0,4897 \rangle$	$\langle 0,1293;$ $0,1701 \rangle$	$\langle 0,3810;$ $0,3810 \rangle$	$\langle 0,6190;$ $0,6190 \rangle$	$\langle 0,8299;$ $0,8299 \rangle$	$\langle 0,5103;$ $0,5103 \rangle$	$\langle 1; 1 \rangle$

Toto obmedzenie riešia viaceré modifikácie Dempsterovho kombinačného pravidla [5].

Potrebné je taktiež upozorniť na rozlišovanie medzi termínom pravdepodobnosť a pravdepodobnostná hodnota v Dempster-Shaferovej teórii. Dempster-Shaferova teória uvažuje s pravdepodobnostnou hodnotou pri základnom priradení, ktoré je stanovené pre hypotézy na potenčnej množine 2^U . Za pravdepodobnosť ju považuje až vtedy, ak základné priradenie je stanovené len pre základné hypotézy, tzn. pre hypotézy na množine U . To poukazuje na použitie pravdepodobnosti stanovenej Dempster-Shaferovou teóriou až vtedy, keď hodnotiaci osoba má dostatočné dôkazy vzťahujúce sa len na základné hypotézy. V článku sa nerozlišuje medzi týmito termínmi. Pravdepodobnosť stanovenú len pre základné hypotézy možno považovať za ideálny prípad, kedy po určitom čase hodnotiaci osoba získa jednoznačné dôkazy. V ekonomickej praxi a vzhľadom aj na úmysel použitia Dempster-Shaferovej teórie pri hodnotení podnikateľských rizík, nie je vždy možné čakať na ďalšie dôkazy. Preto je vhodnejšie použiť určenú pravdepodobnostnú hodnotu na potenčnej množine hypotéz.

Ďalším dôvodom je fakt, že podnikateľské subjekty častokrát musia konať ihneď. Vylúčená nie je ani situácia, kedy z rôznych príčin nebudú získané ďalšie dôkazy. V neposlednom rade, vznik odhadovanej negatívnej udalosti môže byť podmienený platnosťou hypotézy, ktorá nebola ani stanovená, tzn. nenachádza sa medzi základnými hypotézami. Práve vtedy vyjadrenie neistoty v podobe rozpätia intervalu môže byť spojené nielen s konkrétnou hypotézou, o ktorej nemáme dostatočné informácie, ale aj so vznikom úplne inej hypotézy ako boli stanovené. Takáto situácia nie je vylúčená, keďže základné hypotézy stanovuje podľa vlastného uváženia hodnotiaci osoba. V neposlednom rade za zaujímavú myšlienku možno považovať náčrt sporu od Nassima N. Taleba [12]: aká je pravdepodobnosť, že stanovená pravdepodobnosť je správna. Úvaha o pravdepodobnosti stanovovania správnej pravdepodobnosti je dvakrát tak významná práve pri pravdepodobnosti podnikateľských rizík, ktorá je založená na subjektívnej neistote a vychádza z odhadu experta. Preto je možno vhodné nechať určitý priestor neistote a brať do úvahy viaceré alternatívy a to vrátane takých, o ktorých sa predtým neuvažovalo.

4. ZÁVER

Spôsob použitia Dempster-Shaferovej teórie a jej porovnanie s Bayesovou teóriou pravdepodobnosti boli ilustrované na modelovom príklade. Za výhody použitia Dempster-Shaferovej teórie pri hodnotení podnikateľských rizík je možné považovať hlavne vyjadrenie miery rizika v podobe intervalu. Takéto vyjadrenie veľkosti rizika necháva priestor aj na úvahy spojené s neúplnosťou, nedostatkom informácií, prípadne nesprávnym vyhodnotením súvislostí, na základe ktorých bola analytikom stanovená hodnota pravdepodobnosti (základné priradenie) hypotéz. Ako obmedzenie použitia Dempster-Shaferovej teórie je možné považovať Dempsterove kombinačné pravidlo, ktoré ignoruje protikladné názory analytikov. Toto obmedzenie však riešia viaceré modifikácie Dempsterovho kombinačného pravidla ako napríklad Yagerova modifikácia. Za sporné možno považovať aj chápanie

hodnoty základného priradenia za pravdepodobnosť až vtedy, ak je stanovené len pre základné hypotézy. Preto ďalší výskum bude zameraný nielen na modifikácie Dempsterovho kombinačného pravidla, ale aj ďalší postup práce s pravdepodobnosťou v podobe intervalu v rámci posudzovania rizík. Použitie uvedeného postupu stanovovania pravdepodobnosti je možné využiť aj v rámci znaleckých odhadov v oblasti posudzovania ekonomických rizík, kde práve Dempsterove kombinačné pravidlo umožňuje zohľadniť názory viacerých znalcov.

5. LITERATÚRA

- [1] ŠIMÁK, Ladislav: *Manažment rizik* [online]. 2006. Dostupné na: http://fsi.uniza.sk/kkm/old/publikacie/mn_rizik.pdf. [cit. 2016, Apríl 04].
- [2] CHALLA, Subhasch; KOKS, Dan: *Bayesian and Dempster-Shafer fusion*. 2004. Sadhana, vol. 29, iss. 29, pp. 145–174.
- [3] JIANG, Wen et al.: *A modified method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of aircraft turbine rotor blades*. 2016. Mechanical Engineering, vol. 8, iss. 4, pp. 1–16.
- [4] ZHANGA, Xiaoge et al.: *Reliability analysis with linguistic data: An evidential network approach*. 2017. Reliability Engineering and System Safety, vol. 162, pp. 111–121.
- [5] SENZ, Karl; FERSON, Scott.: *Combination of Evidence in Dempster-Shafer Theory* [online]. 2002. Available: <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2002/020835.pdf>. [cit. 2017, September 15].
- [6] BERÁNEK, Ladislav: *Základy Dempster-Shaferovy teórie a její aplikace pro modelování bezpečnosti a spolehlivosti (I.)*. 2010. Chemmagazín, vol. 6, iss. 1, pp. 28–30.
- [7] BERÁNEK, , Ladislav: *Základy Dempster-Shaferovy teórie a její aplikace pro modelování bezpečnosti a spolehlivosti (II.)*. 2011. Chemmagazín, vol. 1, iss. 1, pp. 23–25.
- [8] HA-DUONG, Minh: *Hierarchical fusion of expert opinions in the Transferable Belief Model, application to climate sensitivity*. 2008. International Journal of Approximate Reasoning, vol. 49, pp. 555–574.
- [9] LIN, Tzu-Chao: *Switching-based filter based on Dempster's combination rule for image processing*. 2010. Information Sciences, vol. 180, iss. 24, pp. 4892–4908.
- [10] ŠVECOVÁ, Lenka; Fotr, Jiří: *Pravidla rozhodování za nejistoty*. In J. Fotr, L. Svecová et. al. Manažérske rozhodování: Postupy, metody a nástroje. 2010. Praha Ekopress. 474 s. ISBN 978-80-86229-59-0.
- [11] STRELCOVÁ, Stanislava: *Ďalšie metódy na podporu rozhodovania*. In K. Buganová, M. Hudáková, S. Strelcová, J. Klučka, Manažment Rizika v podniku – praktikum. 2012. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline. 226 s. ISBN 978-80-554-0459-2.
- [12] TALEB, Nassim Nicholas: *Černá labuť*. 2013. Praha: Paseka, 440 s. ISBN: 978-80-7432-128-3.