

Fuzzy přístup k hodnocení rizik

Fuzzy Approach to Risk Evaluation

Radek Doskočil^{a*}, Branislav Lacko^b

^aVysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav informatiky, Brno

^bVysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky, Brno

Abstrakt

Článek se zabývá využitím fuzzy logiky, jakožto vhodného nástroje pro podporu hodnocení rizik v procesu řízení rizik. Nejprve jsou stručně představeny tradiční přístupy k hodnocení rizik, stejně jako základní teoretická východiska související s procesem fuzzy modelování, tj. fuzzy množina, fuzzy číslo, fuzzy logika. Formou případové studie je následně prezentován fuzzy model hodnocení rizik, což je jeho hlavním cílem. K vytvoření, ověření a implementaci fuzzy modelu byl použit Fuzzy Logic Toolbox v softwaru MATLAB.

Klíčová slova: řízení rizik, hodnocení rizik, soft computing, fuzzy modelování, fuzzy logika.

Abstract

The article deals with the use of the fuzzy logic as a suitable tool to support risk evaluation in the risk management process. First, the current approaches to risk assessment are briefly introduced, as well as the basic theoretical background related to the process of fuzzy modelling, i.e. fuzzy set, fuzzy number, fuzzy logic. The fuzzy model of risk assessment is then presented in the form of a case study, which is its main goal. The Fuzzy Logic Toolbox in MATLAB software was used to create, verify and implement the fuzzy model.

Keywords: risk management, risk evaluation, soft computing, fuzzy modelling, fuzzy logic.

1. ÚVOD

Článek se zabývá problematikou hodnocení rizik v procesu kvantifikace rizik, který společně s identifikací rizik a návrhem opatření tvoří klíčové sub-procesy v procesu analýzy rizik [1].

Je-li hodnota rizika špatně stanovena, hrozí nebezpečí, že celá analýza rizik bude provedena nekvalitně a rozhodnutí z ní vyplývající budou chybná a v konečném důsledku se dříve nebo později projeví finančními ztrátami.

Z toho důvodu je potřeba těmto sub-procesům věnovat patřičnou pozornost. Jedna z možností jak zvýšit kvalitu procesu hodnocení rizik je aplikace fuzzy modelování, což je hlavním cílem tohoto článku. Fuzzy přístup v procesu hodnocení rizik minimalizuje nedostatek exaktních přístupů, které jsou obvykle relativně jednoduše aplikovatelné a počitatelné, ovšem obvykle pouze s velkým rozptylem, tzn., že jsou stejně víceméně pouze odhadovány.

2. TRADIČNÍ PŘÍSTUPY K HODNOCENÍ RIZIK

Tradiční přístupy v oblasti hodnocení rizik aplikovaly buď přímo číselné hodnoty pravděpodobnosti a dopadu nebo pracovaly

s klasickými ostrými příslušnostmi těchto hodnot do určitých množin, případně využívaly verbální hodnocení s využitím tabulek [2].

Do kategorie číselných hodnot se řadí způsob hodnocení rizik finanční částkou, kdy z pravděpodobnosti rizika p a velikosti jeho dopadu d je vypočtena hodnota i -té riziko dle vztahu $h_r = p_i \cdot d_i$, přičemž hodnota rizika je vyčíslena v jednotce měny, ve které byl vyčíslen dopad rizika [3].

Do kategorie ostrých hodnot patří hodnocení rizik stanovením číselné hodnoty na předem dohodnuté škále. Typickým představitelem je např. bodovací metoda s mapou rizik [4]. Pravděpodobnost rizika p a velikost jeho dopadu d je reprezentována intervalem $\langle 1; 10 \rangle$ s následným výpočtem tzv. skóre, nahrazující hodnotu rizika hr v intervalu $\langle 1; 100 \rangle$. Tento přístup je rovněž aplikován i v metodě FMEA [5][6].

Do kategorie verbálního hodnocení rizik lze zařadit např. metodu RIPRAN [7][8]. Tato metoda pracuje se soustavou tabulek: tabulka hodnot pravděpodobnosti p (např. *vysoká*, *střední*, *nízká*), tabulka hodnot dopadu d (např. *velký*, *střední*, *malý*) a tabulka verbálních hodnot rizika hr (např. *vysoká*, *střední*, *nízká*). V tomto případě se jedná o tabulku rozsahu $3 \times 3 \times 3$, tj. 3 atributy pro hodnotu p , d a h_r . Rozsahy soustav tabulek je možno měnit resp. zpřesňovat (např.

tabulka rozsahu ($4 \times 4 \times 4$, $3 \times 4 \times 5$) dle aktuální potřeby. Minimální rozsah tabulek je $2 \times 2 \times 2$.

Výše stručně popsané přístupy k hodnocení rizik zpravidla neodpovídají skutečnému vnímání rizika. Manažeři rizik ve své každodenní praxi pracují často s mlhavými (nepřesnými, vágními) pojmy. Na základě svých zkušeností dokáží vyjádřit riziko jako „malé“, „střední“ či „velké“ apod. Tedy vyjadřují se v nenumerních pojmech a riziko definují pomocí lingvistických pojmů, což je bližší přirozenému jazyku a reálnému světu.

Technické řešení nabízí teorie fuzzy množin a fuzzy logiky, která dokáže mlhavé pojmy popsat matematicky přesně a následně s nimi pracovat. V těchto obdobných případech je možno jejich znalost popsat formou fuzzy pravidel a následně daný problém reprezentovat fuzzy modelem resp. fuzzy systémem.

3. FUZZY MODELOVÁNÍ

3.1 Fuzzy množina

Pojem fuzzy množiny představil poprvé v roce 1965 profesor L. A. Zadeh [9] na univerzitě v Berkley, jako rozšíření resp. „zevšeobecnění“ klasických množin.

Fuzzy množinu (viz obr. 1) je možno definovat následovně:

Nechť X je neprázdná množina a $\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0; 1]$. Potom fuzzy množina $\tilde{A}$ je množina všech uspořádaných dvojic $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0; 1]\}, \quad (1)$$

kde je:

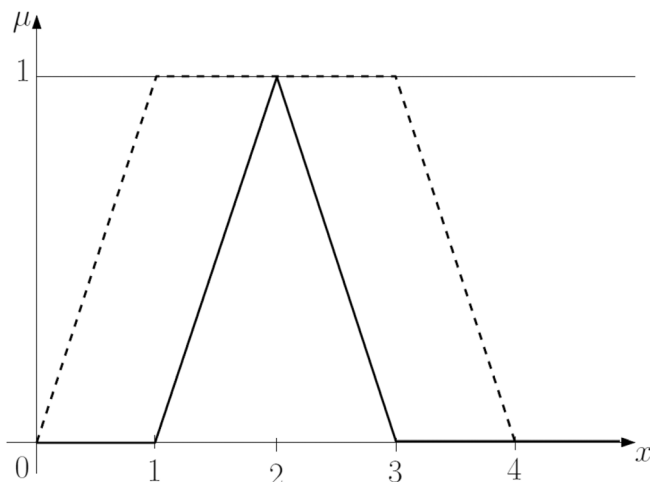
X	univerzum,
$\mu_{\tilde{A}}$	funkce příslušnosti (členství) fuzzy množiny $\tilde{A}$,
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	stupeň příslušnosti (členství) prvku x k $\tilde{A}$ pro všechna $x \in X$ [9].

Nosič (základ) fuzzy množiny $\tilde{A}$ je definován jako:

$$\text{supp } \tilde{A} = \{x \in X : \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\}. \quad (2)$$

Jádro fuzzy množiny $\tilde{A}$ je definováno jako:

$$\text{ker } \tilde{A} = \{x \in X : \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\}. \quad (3)$$



Obr. 1 Trojúhelníkový a lichoběžníkový typ funkce příslušnosti.
Fig. 1 Triangular and trapezoidal type of membership function.

Výška fuzzy množiny $\tilde{A}$ je definována jako:

$$\text{hgt } \tilde{A} = \sup_x \mu_{\tilde{A}}(x). \quad (4)$$

Je-li například fuzzy množina $\tilde{A}$ „asi 2“, potom $\text{supp } \tilde{A} = (1; 3)$, $\text{ker } \tilde{A} = \{2\}$ a $\text{hgt } \tilde{A} = 1$ (viz obr. 1).

Nechť α je číslo z intervalu $(0; 1)$, potom α řez fuzzy množiny $\tilde{A}$ je definován následovně:

$$A_{\alpha} = \{x \in X : \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}. \quad (5)$$

3.2 Fuzzy číslo

Fuzzy množina $(\cdot, \cdot)$ je nazývána fuzzy čísly na množině reálných čísel $\mathbf{R}$ jsou-li splněny následující podmínky:

- fuzzy množina $\tilde{A}$ je konvexní ($\mu_{\tilde{A}}$ je konvexní funkce),
- fuzzy množina $\tilde{A}$ je normální ($\text{hgt } \tilde{A} = 1$),
- $\mu_{\tilde{A}}$ je po částech spojitou funkcí.

S fuzzy čísly se provádějí základní binární operace jako např. $+$, $-$, $\cdot$, $/$. Je-li $*$ binární operace na $\mathbf{R}$, potom rozšířená binární operace na $\tilde{A}$, kde $\tilde{A}$ je množina všech fuzzy čísel, znamená operace $\otimes$, např. $\oplus$, $\ominus$, $\odot$, $\oslash$:

$$\mu_{\tilde{A} \otimes \tilde{B}}(z) = \sup_{\substack{x, y \\ x * y = z}} \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)\} \quad (6)$$

Praktický výpočet rozšířených binárních operací je často realizován s využitím α řezů [10]. Pro rozšířenou binární operaci platí vztah

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \bigcup_{\alpha \in [0; 1]} \alpha A_{\alpha} \otimes B_{\alpha} \quad (7)$$

Označíme-li $A_{\alpha} = \langle a_{1\alpha}; a_{2\alpha} \rangle$ a $B_{\alpha} = \langle b_{1\alpha}; b_{2\alpha} \rangle$, potom rozšířená binární operace pro binární operaci $*$ je

$$A_{\alpha} \otimes B_{\alpha} = \langle a_{1\alpha}; a_{2\alpha} \rangle \otimes \langle b_{1\alpha}; b_{2\alpha} \rangle \quad (8)$$

Každý α řez fuzzy čísla lze považovat za intervalové číslo. Intervalovým číslem rozumíme interval $a; b$, kde $a \leq b$, a a b jsou reálná čísla [10].

Aritmetické operace s intervalovými čísly lze definovat následujícími vztahy [11]:

$$\langle a; b \rangle + \langle c; d \rangle = \langle a + c; b + d \rangle,$$

$$\langle a; b \rangle - \langle c; d \rangle = \langle a - d; b - c \rangle,$$

$$\langle a; b \rangle \cdot \langle c; d \rangle = \langle \min\{ac, ad, bc, bd\}; \max\{ac, ad, bc, bd\} \rangle,$$

$$\langle a; b \rangle / \langle c; d \rangle = \langle \min\{a/c, a/d, b/c, b/d\}; \max\{a/c, a/d, b/c, b/d\} \rangle.$$

3.3 Fuzzy logika

Fuzzy logika vychází z teorie fuzzy množin. Slovo fuzzy znamená neostrý, matný, neurčitý, vágní. Odpovídá tomu i fuzzy teorie, která se snaží zachytit realitu v její nepřesnosti a neurčitosti. Výraz logika představuje pravidla typu $\langle \text{Když} \rangle$, $\langle \text{A} \rangle$, $\langle \text{Potom} \rangle$ atd. na základě kterých systém s fuzzy logikou pracuje.

V klasické teorii množin prvek do množiny patří (úplné členství v množině) nebo nepatří (žádné členství v množině). Fuzzy množina je množina, která kromě úplného nebo žádného členství připouští i členství částečné. Pomocí fuzzy množin určujeme, jak moc prvek do množiny patří nebo nepatří. Tato příslušnost k množině

je v rozmezí mezi nulou a jedničkou. Nula znamená, že prvek do množiny zcela nepatří a naopak jednička, že prvek do množiny zcela patří.

Funkce příslušnosti lze graficky znázornit křivkami. Nejpoužívanější křivky připomínají písmena latinky „S“, „Z“ a řecké abecedy „lambda“ a „pi“ (viz obr. 1). Funkce příslušnosti v množině se týká jak vstupních proměnných, tak i výstupních proměnných [11].

Proces fuzzy modelování je zpravidla realizován ve třech následných etapách:

Fuzzifikace – převádí reálné hodnoty základní proměnné na jazykové proměnné ve formě atributů (např. riziko malé, střední, vysoké). Atributů se zpravidla přiřazuje k základní proměnné tři až sedm.

Fuzzy inference – definuje chování systému pomocí pravidel typu ⟨Když⟩, ⟨A⟩, ⟨Nebo⟩, ⟨Potom⟩ na jazykové úrovni, které vyhodnocují jednotlivé proměnné. Každá kombinace atributů proměnných, vstupujících do systému a vyskytujících se v podmínkách ⟨Když⟩, ⟨Potom⟩, představuje jedno pravidlo.

Defuzzifikace – převádí výsledné hodnoty fuzzy inference (výstupní proměnné), na reálné hodnoty ve formě atributů.

Při praktické tvorbě systému s fuzzy logikou je obvykle k modelování konkrétního případu potřeba několik vstupních a výstupních proměnných, z nichž každé mají určitý počet atributů. K vyhodnocení modelu je nutno využít některého z komerčně prodáváného programu, jako např. MATLAB od firmy MathWorks Inc [11].

4. FUZZY HODNOCENÍ RIZIK – PŘÍPADOVÁ STUDIE

Případová studie představuje aplikaci fuzzy logiky jako možný nástroj pro podporu hodnocení rizik. Fuzzy model hodnocení rizik byl realizován v prostředí software MATLAB s využitím aplikace Fuzzy Logic Toolbox.

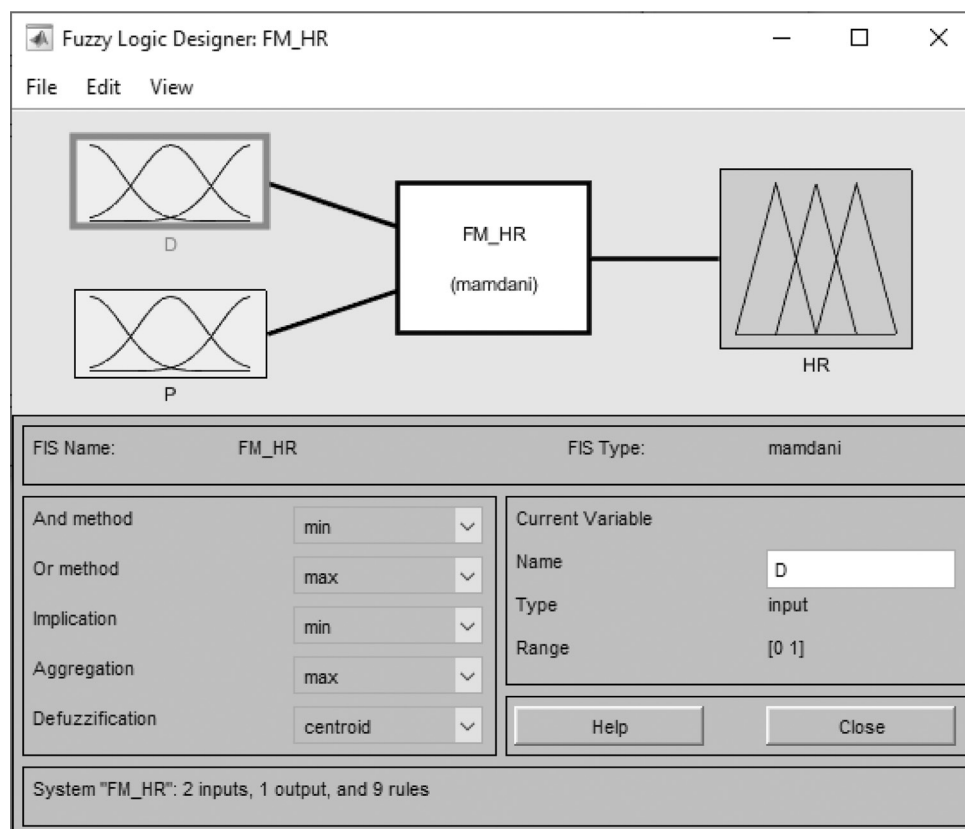
4.1 Tvorba modelu

Fuzzy model (viz obr. 2) je tvořen jedním blokem pravidel (FM_HR) do kterého vstupuje proměnná D (dopad), se třemi atributy M („malý“), S („střední“) a V („vysoký“) a proměnná P (pravděpodobnost), rovněž se třemi atributy M („malá“), S („střední“) a V („vysoká“). Výstupem modelu je jedna proměnná HR (hodnota rizika) opět se třemi atributy M („malá“), S („střední“) a V („vysoká“).

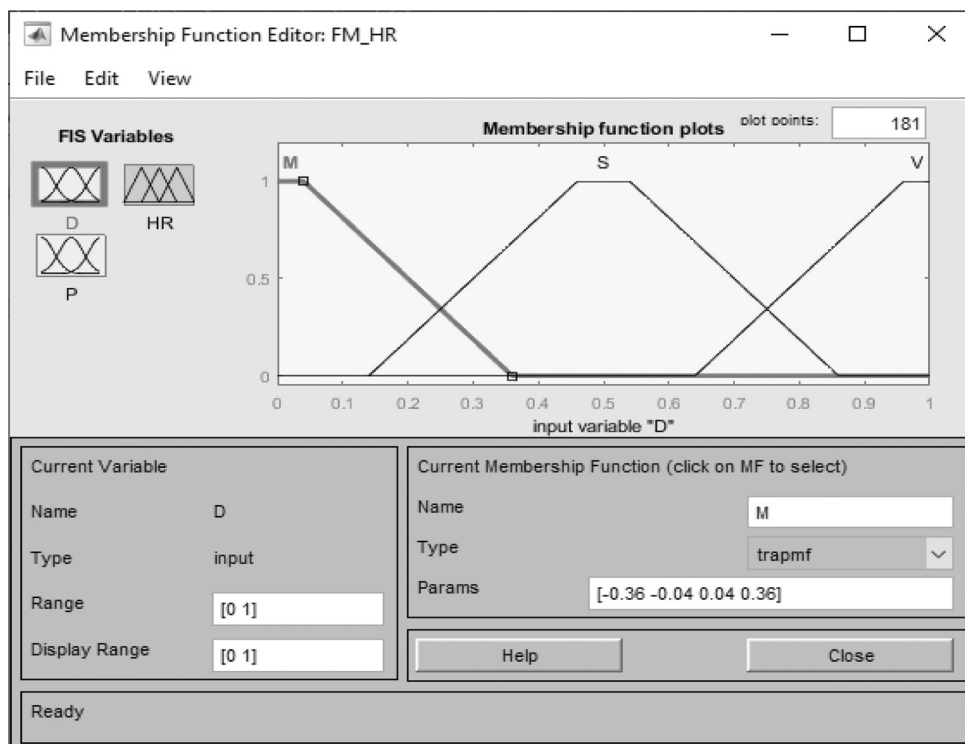
Vstupní proměnné D a P představují běžně používané parametry pro hodnocení rizik, vycházející jak z příslušných ČSN ISO norem [1], tak z dostupných metod pro hodnocení rizik [12].

Počet atributů u vstupních i výstupní proměnné je možno dle konkrétní potřeby daného subjektu měnit. Pro vstupní i výstupní proměnné je možno do modelu zavést např. 5 atributů („velmi malá“, „malá“, „střední“, „vysoká“, „velmi vysoká“), reprezentujících jemnější škálu hodnocení [13].

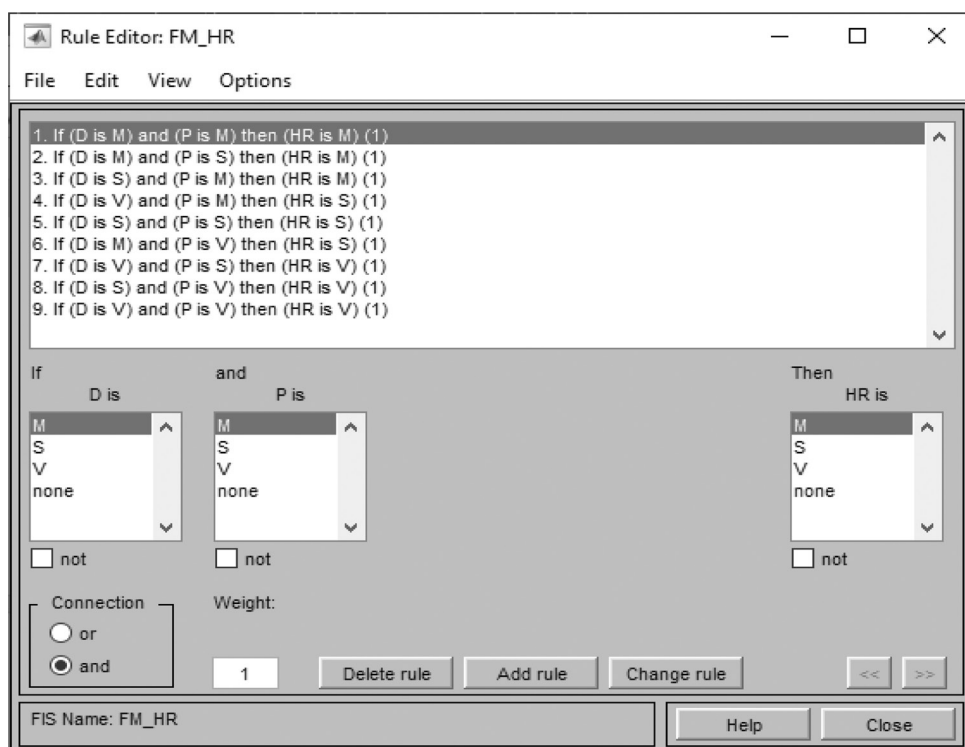
Obr. 3 zobrazuje funkci členství pro vstupní proměnnou D. Rozsah hodnot je definován na intervalu ⟨0; 1⟩ a typ funkce příslušnosti má lichoběžníkový tvar Π (*trapmf*). Obdobným způsobem je možno definovat, editovat a zobrazit funkce příslušnosti u druhé vstupní proměnné P a výstupní proměnné HR.



Obr. 2 Schéma fuzzy modelu.
Fig. 2 The scheme of the fuzzy model.



Obr. 3 Funkce příslušnosti vstupní proměnné D.
Fig. 3 The membership function of input variable D.



Obr. 4 Pravidla fuzzy modelu.
Fig. 4 The rules of fuzzy model.

Pravidla fuzzy modelu jsou zobrazena na obr. 4. V našem ukázkovém případě vychází výčet a kombinace všech devíti pravidel z rovnoměrného (diagonálního) rozložení kvantifikace rizik. Tato pravidla se však mohou měnit, především na základě vyjádření

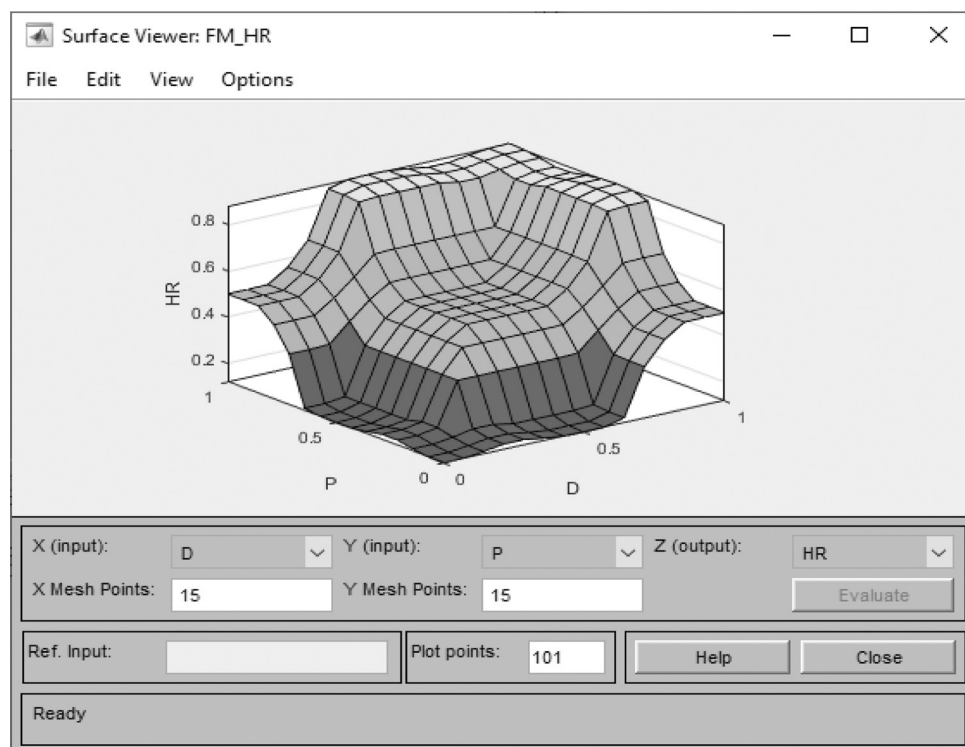
expertů. Expertní hodnocení rizik, např. s využitím metody Delphi [14], je typickým způsobem identifikace fuzzy pravidel v praxi.

Pravidlo 1. představuje situaci, kdy $\langle \text{Když} \rangle D=M \langle \text{A} \rangle P=M \langle \text{Potom} \rangle HR=M$, jehož interpretace je následující: *Je-li dopad*

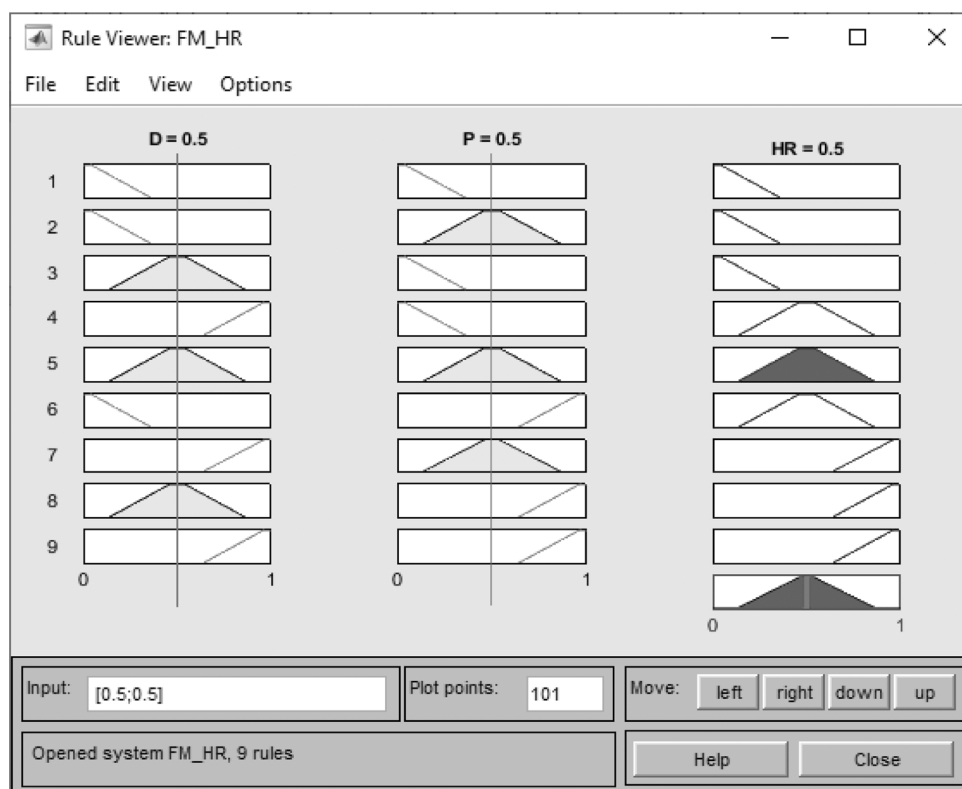
malý a současně pravděpodobnost malá, potom hodnota rizika je vyhodnocena jako malá. Obdobným způsobem je možno interpretovat i ostatní fuzzy pravidla v modelu.

4.2 Verifikace modelu

Verifikace modelu spočívá v procesu ověření funkčnosti modelu z pohledu zadávání vstupních proměnných a vyhodnocování výstupní proměnné, tj. verifikaci zadaných fuzzy pravidel.



Obr. 5 Grafická závislost mezi proměnnými.
Fig. 5 Graphical dependency between variable.



Obr. 6 Hodnocení konkrétního rizika.
Fig. 6 The evaluation of a specific risk.

Obr. 5 zobrazuje grafickou závislost výstupní proměnné HR na vstupních proměnných D a P. Jedná se o funkční závislost $HR = f(D, P)$.

Bod se souřadnicemi [0;0] představuje situaci, kdy vstupní proměnná D a P je malá, potom výstupní proměnná HR je vyhodnocena jako malá.

Bod se souřadnicemi [1;1] představuje situaci, kdy vstupní proměnná D a P je velká, potom výstupní proměnná HR je vyhodnocena jako velká.

Grafické zobrazení závislostí vstupních a výstupní proměnné umožňuje verifikaci nastavených parametrů fuzzy modelu. Obecně lze říci, že zobrazená plocha daného modelu je vyhovující, neboť zadaná pravidla a zvolené funkce příslušnosti model dostatečně zevšeobecňují. Navíc získané výsledky formou simulačních pokusů (nastavení vstupních hodnot proměnných) odpovídaly požadavkům. Z těchto důvodů lze model považovat principiálně za funkční, nicméně pro konkrétní hodnocení rizik v kontextu daného subjektu resp. projektu je nutná jeho kalibrace.

4.3 Implementace modelu

Implementace modelu představuje proces jeho využití při hodnocení konkrétních rizik s využitím navrženého fuzzy modelu.

Hodnocení vybraného konkrétního rizika je zobrazeno na obr. 6. Tento představuje situaci, kdy vstupní proměnná D a P má hodnotu 0, potom výstupní proměnná HR má hodnotu 0,118 což znamená, že hodnota rizika je malá. Použití 1. pravidla je vyjádřeno u výstupní proměnné HR podbarvením.

Pro praktickou implementaci modelu v prostředí MATLAB je vodně vytvořen spustitelný soubor, tzv. M-soubor [15], který slouží k zadávání vstupních hodnot a k automatickému vyhodnocení výstupu modelu, tj. v našem případě hodnota rizika. Parametry fuzzy modelu hodnocení rizik jsou uloženy v souboru *FM_HR.fis* a týkají se údajů o vstupech, výstupech, funkcí členství a pravidel.

5. ZÁVĚR

Hlavní výhodou fuzzy přístupu v procesu hodnocení rizik je schopnost minimalizovat nedostatek praktické aplikace exaktního přístupu. Navržený fuzzy model projektů umožňuje pracovat s nepřesnými informacemi, jež jsou bližší přirozenému jazyku manažerů rizik. Přitom fuzzy model umožňuje transformovat vstupní proměnné P a D na lingvistické pojmy, stejně jako výstupní proměnnou HR.

Prezentovaný model respektuje zásady systémové metodologie (systémový přístup, systémové myšlení, systémové disciplíny, systémové algoritmy) [16] v procesu abstraktního modelování struktury systému. To umožňuje přejít k řízení rizik [17], které využívá fuzzy pravidel k formulování doporučených zásad pro řešení rozhodovacích situací tzv. Fuzzy Control. Následně, po shromáždění dostatečného množství zkušeností je možno vypracovat expertní systém podporující manažery při řízení rizik.

Aplikací fuzzy přístupu v procesu hodnocení rizik je možno přesněji analyzovat a následně lépe minimalizovat současná komplikovaná nebezpečí, které představuje nepřesně zpracovaná

kvantifikace rizik dosavadními klasickými postupy. Zavádějící výsledky procesu kvantifikace rizik mohou vést k volbě chybných opatření v procesu minimalizace rizik a k deformaci výsledků celkové analýzy rizik.

6. LITERATURA

- [1] ČSN ISO 31000 (01 0351) *Management rizik – principy a směrnice*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010, 37 s.
- [2] ČSN EN 31010 (01 0352) *Management rizik – Techniky posuzování rizik*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011, 80 s.
- [3] Project Management Institute. *PMBOK Guide – Sixth Edition*. 2017. [cit. 19. srpna 2021]. Dostupné z: <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok/sixth-edition>
- [4] PODMOLÍK, L. *Řízení vzdělávací instituce*. Středisko distančního vzdělávání. UP Olomouc. 2006. Olomouc.
- [5] SZKODA, M., KACZOR, G.: Application of the FMEA Method for the Risk Assessment in Railway Transport According to the Requirements of PN-EN IEC 60812: 2018-12 Standard. *Journal of KONBiN*, roč. 50, 2020, 2: s. 1–17.
- [6] ČSN EN IEC 60812: *Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA a FMECA)* ed. 2, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2019, 72 s.
- [7] LACKO, B.: The Risk Analysis of Soft Computing Projects. In: *Proceedings International Conference on Soft Computing – ICSC 2004*. European Polytechnical Institute Kunovice, 2004, s. 163–169.
- [8] LACKO, B.: *RIPRAN Metoda pro analýzu projektových rizik*. [cit. 19. srpna 2021]. Dostupné z: <https://ripran.cz/>
- [9] ZADEH, L.A.: Fuzzy sets, *Information and Control*, roč. 8, 1965, 3: s. 338–353.
- [10] KARPÍŠEK, Z.: *Přehled základních pojmů teorie fuzzy množin a jejich vlastností*, FSI VUT v Brně, 2009. Brno, 12 s.
- [11] DOSTÁL, P.: *Advanced decision making in business and public services*. Akademické nakladatelství CERM, 2011, Brno, 167 s.
- [12] OBROVA, V., SMOLIKOVA, L. The Comparison of Selected Risk Management Methods for Project Management. In: *Environmental Software Systems: Fostering Information Sharing*, Berlin, roč. 413, 2013, s. 517–524.
- [13] DOSKOČIL, R., LACKO, B.: Risk Management and Knowledge Management as Critical Success Factors of Sustainability Projects. *Sustainability*, roč. 10, 2018, 5, s. 1–13.
- [14] MARKMANN, C., DARKOW, I. L., von der GRACHT, H.: A Delphi-based risk analysis—Identifying and assessing future challenges for supply chain security in a multi-stakeholder environment. *Technological Forecasting and Social Change*, roč. 80, 2013, 9, s. 1815–1833.
- [15] DOSKOČIL, R.: An evaluation of total project risk based on fuzzy logic. *Business: Theory and Practice*, roč. 17, 2016, 1, s. 23–31.
- [16] JANÍČEK, P.: *Systémová metodologie: brána do řešení problémů*. Akademické nakladatelství CERM, 2014, Brno. 1 sv. (různé stránkování).
- [17] SMEJKAL, V., RAIS, K.: *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. Grada, 2013, Praha, 483 s.

Správná citace:

DOSKOČIL, R., LACKO, B. Fuzzy přístup k hodnocení rizik. *Soudní inženýrství*, 2021, 32(4), 57–62.
DOI: <http://dx.doi.org/10.13164/SI.2021.4.57>. ISSN 1211-443X.