VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV MANAGEMENTU

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT
INSTITUTE OF MANAGEMENT

APLIKACE FUZZY LOGIKY PŘI HODNOCENÍ DODAVATELŮ FIRMY

THE APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR RATING OF SUPPLIERS FOR THE FIRM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. MARTIN ŠEDA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Ing. PETR DOSTÁL, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta podnikatelská

Akademický rok: 2012/2013
Ústav managementu

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Šeda Martin, Bc.

Řízení a ekonomika podniku (6208T097)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává diplomovou práci s názvem:

Aplikace fuzzy logiky při hodnocení dodavatelů firmy

v anglickém jazyce:

The Application of Fuzzy Logic for Rating of Suppliers for the Firm

Pokyny pro vypracování:

Úvod
Vymezení problému a cíle práce
Teoretická východiska práce
Analýza problému a současné situace
Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Podle § 60 zákona č. 121/2000 Sb. (autorský zákon) v platném znění, je tato práce "Školním dílem". Využití této práce se řídí právním režimem autorského zákona. Citace povoluje Fakulta podnikatelská Vysokého učení technického v Brně.

Seznam odborné literatury:

DOSTÁL, P. Pokročilé metody rozhodování v podnikatelství a veřejné správě. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. 718 s. ISBN 978-80-7204-798-7. e-ISBN 978-80-7204-799-4.
DOSTÁL, P. Advanced Decision Making in Business and Public Services. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. 168 s. ISBN 978-80-7204-747-5.
HANSELMAN, D. a B. LITTLEFIELD. Mastering MATLAB7. Pearson Education International Ltd., 2005. 852 s. ISBN 0-13-185714-2.
MAŘÍK, V., O. ŠTĚPÁNKOVÁ a J. LAŽANSKÝ, J. Umělá inteligence. ACADEMIA, 2003. 1440 s. ISBN 80-200-0502-1.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Petr Dostál, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

L.S.

prof. Ing. Vojtěch Koráb, Dr., MBA	doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
Ředitel ústavu	Děkan fakulty

V Brně, dne 29.03.2013

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá hodnocením dodavatelů vybrané firmy pomocí fuzzy logiky. Navrhnutý fuzzy systém umožňuje vyhodnocovat jednotlivé nabídky a slouží jako podpora pro rozhodování.

Abstract

Master's thesis deals with the evaluation of suppliers of selected company using fuzzy logic. Designed fuzzy system allows firm to evaluate individual offers and serves as a support for decision-making.

Klíčová slova

hodnocení dodavatelů, fuzzy logika, fuzzy množiny, fuzzy systémy, Excel, MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox

Key words

rating of suppliers, fuzzy logic, fuzzy sets, fuzzy systems, Excel, MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox

Bibliografická citace

ŠEDA, M. *Aplikace fuzzy logiky při hodnocení dodavatelů firmy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2013. 96 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Petr Dostál, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 20. května 2013

……

podpis studenta

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu této práce, prof. Ing. Petru Dostálovi, CSc., za poskytnuté připomínky, rady a konzultace. Dále děkuji zástupcům společnosti OHL ŽS, a.s. za ochotnou spolupráci a poskytnuté informace, bez kterých by praktická část diplomové práce nemohla vzniknout.

Obsah

1 Úvod 10

2 Vymezení problému a cíle práce 11

3 Teoretická východiska práce 12

3.1 Fuzzy logika 12

3.1.1 Vlastnosti fuzzy množin 14

3.1.2 Základní typy členských funkcí 16

3.1.3 Operace s fuzzy množinami 20

3.1.4 Fuzzy aritmetika 24

3.1.5 Fuzzy zpracování 28

3.1.6 Historie fuzzy logiky a fuzzy množin 36

4 Analýza problému a současné situace 41

4.1 Představení společnosti 41

4.2 Průběh výběrového řízení 44

4.3 Řešená výběrová řízení 45

4.3.1 Dodavatelé náhradních zdrojů elektrické energie 45

4.3.2 Dodavatelé rozvaděčů vysokého napětí 47

4.3.3 Dodavatelé transformátorů 49

5 Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení 52

5.1 Vývoj modelů 52

5.2 Excel 55

5.2.1 Dodavatelé náhradních zdrojů elektrické energie 58

5.2.2 Dodavatelé rozvaděčů vysokého napětí 63

5.2.3 Dodavatelé transformátorů 66

5.3 MATLAB 70

5.3.1 Dodavatelé náhradních zdrojů elektrické energie 77

5.3.2 Dodavatelé rozvaděčů vysokého napětí 79
5.3.3 Dodavatelé transformátorů 81
5.4 Srovnání modelů vytvořených v Excelu a MATLABu 83
5.4.1 Dodavatelé náhradních zdrojů elektrické energie 84
5.4.2 Dodavatelé rozvaděčů vysokého napětí 85
5.4.3 Dodavatelé transformátorů 86
6 Závěr 88
Seznam použité literatury 90
Seznam tabulek 92
Seznam obrázků 94
Seznam příloh 96

1 Úvod

Rozhodování a hodnocení jsou běžné činnosti, které denně vykonává každý z nás. Často probíhá za podmínek nejistoty a neurčitosti. Rozvoj teoretické matematiky a informatiky, zejména zvýšení výpočetního výkonu, umožnil v posledních letech pro rozhodování využívat informační a komunikační technologie.

Umělou inteligenci je možno využít pro analyzování, modelování, simulování, predikování a díky tomu i pro rozhodování. Do umělé inteligence řadíme například expertní systémy založené na fuzzy logice, neuronové sítě nebo genetické algoritmy. Všechny tyto metody mají společné to, že jsou inspirovány přírodou a jevy v ní probíhajícími.

Primárním cílem společností je dosahování zisku, resp. zvyšování tržní hodnoty firmy. Zavedením systémů na bázi umělé inteligence dochází ke snižování časů potřebných na rozhodování, minimalizaci chyb při rozhodování, snížení nákladů a díky tomu k vyššímu zisku.

Škála využití umělé inteligence je velmi široká. Lze ji využít pro řadu optimalizačních úloh, například pro hledání nejkratší cesty, minimalizace odpadu při výrobě, hledání spádových oblastí nebo optimalizace kapitálové struktury. Využití má i v medicíně, chemii, informatice, elektronice, ve hrách atd.

V této práci se budu věnovat hodnocením dodavatelů pomocí expertních systémů založených na fuzzy logice. Expertní systémy jsou založeny na znalostech experta, který do systému vloží své vědomosti a systém pak rozhoduje tak, jak by sám rozhodoval expert.

2 Vymezení problému a cíle práce

Výběr správného dodavatele patří k důležitým činnostem firmy bez ohledu na typ podniku, jeho velikost a obor podnikání. Špatný dodavatel může mít negativní vliv na dobré jméno firmy a v extrémním případě může chybná volba dokonce způsobit fatální škody, které nepůjde napravit. Hodnocení dodavatelů a jejich výběru by se proto měla věnovat velká pozornost. V dnešní době je k tomuto účelu možné využít informační a komunikační technologie společně s vhodnou softwarovou výbavou, které dokáží efektivně a spolehlivě hodnotit jednotlivé nabídky a poskytují tak relevantní informace pro rozhodování manažerů.

Cílem této práce je navrhnout univerzální fuzzy systém pro hodnocení dodavatelů, který bude vyhovovat potřebám vybrané společnosti. Kritéria, jejich váhy a inferenční pravidla budou navrhovány ve spolupráci s experty z firmy. Fuzzy systémy budou navrhnuty v programu Microsoft Excel a v programu MathWorks MATLAB pomocí Fuzzy Logic Toolboxu.

3 Teoretická východiska práce

3.1 Fuzzy logika

„Fuzzy – slovo pocházející z angličtiny, které znamená „mlhavý, nejasný, neostrý, neurčitý[1]*“. Fuzzy logika je tedy logika „mlhavá, nejasná, neostrá, neurčitá“. Logika je věda o zákonech správného myšlení, o zákonech a pravidlech nutných pro vyvozování správných závěrů. Vyslovíme-li nějaké tvrzení (větu), můžeme prohlásit buď: „ANO, toto tvrzení je pravdivé“ nebo „NE, toto tvrzení není pravdivé“! Toto platí možná ve zjednodušeném a idealizovaném světě, ale stěží ve světě reálném, ve kterém se člověk pohybuje. Ale má vůbec pojem „neurčitost“ oprávnění ke své existenci v technické vědě?“* (1, str. 9)

Výrok pronesený v klasické Aristotelově logice, formulované před více než dvěma tisíci lety, nabývá pouze dvou stavů: pravda (1) a nepravda (0). Nic mezi tím neexistuje, prvek do množiny buď patří, nebo nepatří. V reálném světě takto ostré a přesné hranice neexistují. Je běžné, že některý výrok je částečně pravda, spíše pravda nebo přibližně z poloviny pravda, k popisu se užívá vágních pojmů.

Tabulka 1 – Pravdivostní hodnoty klasické logiky
zdroj:2, str. 16

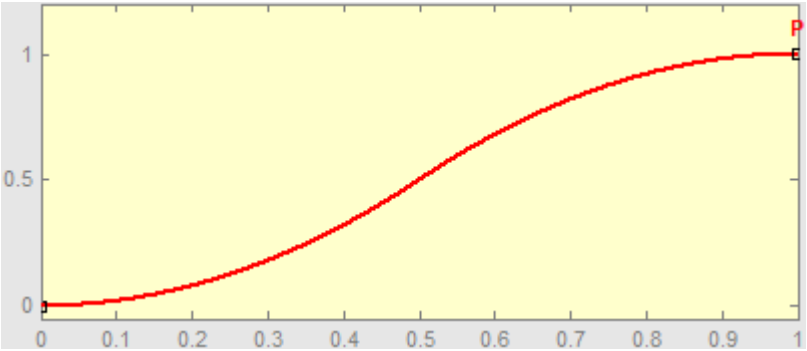
	A	B	$\neg A$	$A \vee B$	$A \wedge B$	$A \Longrightarrow B$	$A \Leftrightarrow B$
1.	1	1	0	1	1	1	1
2.	1	0	0	1	0	0	0
3.	0	1	1	1	0	1	0
4.	0	0	1	0	0	1	1

Klasická logika naráží na řadu případů, které nejsou s její pomocí řešitelné nebo je výsledkem „logická nesmyslnost“. K takovým případům patří například paradox hromady, který řeší kolik je potřeba zrnek písku k tomu, aby se z nich stala „hromada“ resp. kolik je potřeba odebrat z „hromady“ zrnek písku, aby to už nebyla „hromada“:

[1] ale také opilý

„Je zvykem velké množství písku označovat slovem „hromada“. Když z hromady odebereme jedno zrnko, zřejmě nepřestane být hromadou. Budeme-li v tom však pokračovat dostatečně dlouho, nezbude nic. Tomu však neříkám hromada. Nedaří se nám však určit, v kterém kroku hromada písku přestala být hromadou po odebrání jediného zrnka. Na stejný problém narazíme i při opačném postupu. Jedinému zrnku neříkáme hromada. Přidáním zrnka k množství, které není hromadou, z něj hromada nevznikne. Pak lze uplatnit matematickou indikci a dojít k (chybnému) závěru, že žádné konečné množství zrnek netvoří hromadu. Z toho vyplývá, že vlastnost „být hromadou“ (definovaná pro všechna množství písku) nemůže být klasická, dvouhodnotová (vyjádřená právě jednou z možností „je/není“.“ (3, str. 6)

Tento problém se dá jistým způsobem vyřešit s pomocí fuzzy logiky, která nepracuje s pouhými dvěma stavy, tedy nulou a jedničkou, ale se všemi stavy členství (kterých je nekonečně mnoho). Při nulovém počtu zrnek písku se jedná o hromadu z nula procent, při deseti milionech zrnek se bude jednat o hromadu např. z 20 % a při jedné miliardě zrnek půjde např. o čtyřicetiprocentní hromadu.



Obrázek 1 – Možné řešení paradoxu hromady

Obrázek 1 ukazuje, jak je ve fuzzy logice možné postupně zvyšovat stupeň pravdivosti, resp. snižovat stupeň nepravdivosti. Odebrání jednoho zrnka písku sníží „stupeň hromadovitosti“ např. o jednu miliontinu, což v klasické logice nejde. Na ose x se vynáší množství zrnek písku, na ose y stupeň členství, červená křivka je potom funkce členství.

Za zakladatele teorií fuzzy logiky a fuzzy množin je považován profesor Lotfi A. Zadeh, narozen ve městě Baku v Ázerbájdžánu, ale působící v Kalifornské univerzitě v Berkeley. Ve fuzzy množinách se určuje stupeň příslušnosti prvků k dané množině, tedy „jak moc“ do ní patří nebo nepatří. Příslušnost prvku x k množině A je definována v intervalu $[0, 1]$ a označuje se $\mu_A(x)$. $\mu_A(x) = 1$ znamená, že prvek x do množiny A zcela patří, tj. úplné členství ($x \in A$), a $\mu_A(x) = 0$ znamená, že prvek x do množiny A zcela nepatří, tj. úplné nečlenství ($x \notin A$). (4, str. 8)

V klasické množině $A \subseteq X$ platí, že $x_A(X) = 1$ jestliže $x \in A$, tj. pokud prvek x do množiny A patří a $x_A(X) = 0$ jestliže $x \notin A$, tj. pokud prvek x do množiny A nepatři. Jde tedy o funkci $x_A: X \rightarrow [0, 1]$. Jinými slovy prvek x může nabývat dvou hodnot jednoznačně určenou ostrou množinou (nula a jedna). (4, str. 8)

Fuzzy množina je zobecněná množina využívající celý interval $[0, 1]$ a ne pouze jeho část, tj. $\{0, 1\}$. Funkce příslušnosti fuzzy množiny A na ostré množině X vypadá následovně: $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$. Hodnota $\mu_A(x)$ je ve fuzzy množině spojitou mírou a vyjadřuje míru členství prvku x v množině A, $x \in A$ tedy může být libovolné číslo $\alpha \in [0, 1]$. (4, str. 8)

Na v úvodu této kapitoly položenou otázku „Má vůbec pojem „neurčitost“ oprávnění ke své existenci v technické vědě?“ musím odpovědět ano, protože neurčitost je přirozená pro reálný svět i lidské myšlení. Fuzzy logika sama o sobě není nepřesná, naopak je přesnou teorií, ale pracuje se známými stavy neostrých jevů. Fuzzy logika je relativně novým matematickým oborem založeným na exaktních principech, které umožňují rychleji, jednodušeji a elegantněji řešit složité problémy. Některé matematické základy vysvětlím dále v textu.

3.1.1 Vlastnosti fuzzy množin

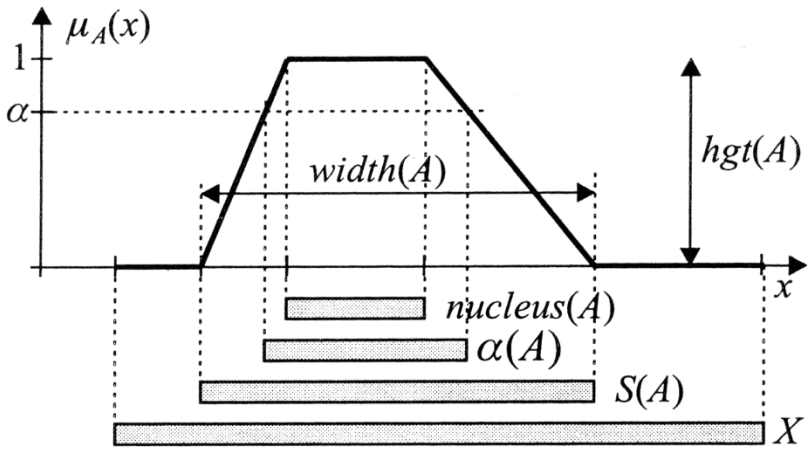
Nosič (support) fuzzy množiny A je ostrá množina S, která je definovaná jako množina prvků univerza X s kladnou funkcí příslušnosti, tj. $S(A) = \{x/\mu_A(x) > 0\}$.

Šířka (width) fuzzy množiny A je definována: $width(A) = sup\big(S(A)\big) - inf\big(S(A)\big)$. V případě, kdy je nosič fuzzy množiny ohraničený, lze supremum a infimum nahradit maximem a minimem a šířka je potom dána jejich rozdílem.

Jádro (nucleus) fuzzy množiny A je ostrá množina prvků, jejich funkce příslušnosti je jedna: $nucleus(A) = \{x \in X / \mu_A(x) = 1\}$. *Špičková hodnota (peak value)* je jediný bod, ve kterém je funkce příslušnosti rovna jedné. V jiné literatuře (5, str. 113) je jádro označováno termínem *kernel*.

Výška (height) fuzzy množiny A je pro $x \in X$ definovaná: $hgt(A) = sup\big(\mu_A(x)\big)$. Jestliže se výška rovná jedné, jedná se o *normální* fuzzy množinu. V opačném případě jde o fuzzy množinu *subnormální*.

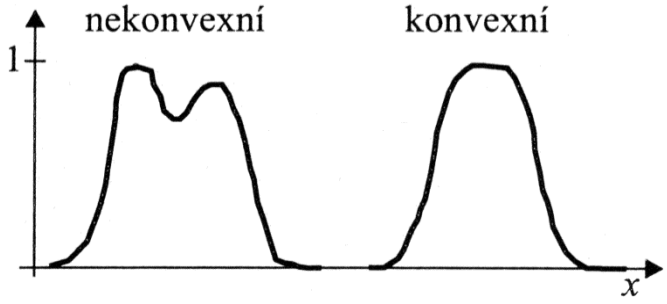
α-řez (α-cut) fuzzy množiny A je ostrá množina definovaná pro $\alpha \in [0,1]$ takto: $\alpha(A) = \{x \in X / \mu_A(x) \geq \alpha\}$. Všechny tyto vlastnosti jsou znázorněny na obrázku 2. (1, str. 26-27)



Obrázek 2 – Základní pojmy fuzzy množin
zdroj: 1, str. 26

α-hladina (α-level) fuzzy množiny A je speciálním případem α-řezu, pro který platí ostrá rovnost funkce příslušnosti $\mu_A(x)$ a hladiny α, tj. $\alpha(A) = \{x \in X / \mu_A(x) = \alpha\}$. (5, str. 113)

Fuzzy množina A je *konvexní*, jestliže pro každé dva prvky $x, y \in X$ a pro každé $\lambda \in [0,1]$ platí: $\mu_A(\lambda \cdot x + (1-\lambda) \cdot y) \geq min(\mu_A(x), \mu_A(y))$. Jinými slovy fuzzy množina je konvexní, pokud libovolný bod ležící mezi body x a y je větší než nejmenší krajní hodnota $\mu_A(x)$ nebo $\mu_A(y)$. (1, str. 26-27)

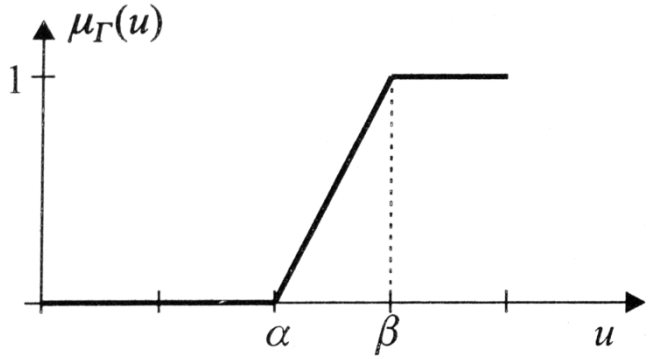


Obrázek 3 – Konvexnost fuzzy množin
zdroj: 1, str. 27

3.1.2 Základní typy členských funkcí

Vysoký (6, str. 56) doporučuje volit co nejjednodušší tvar funkce, pokud možno funkce složené z lineárních úseků. Užívají se zejména funkce trojúhelníkové (Λ-funkce), lichoběžníkové (Π-funkce), Γ-funkce, L-funkce a nelineární S-funkce.

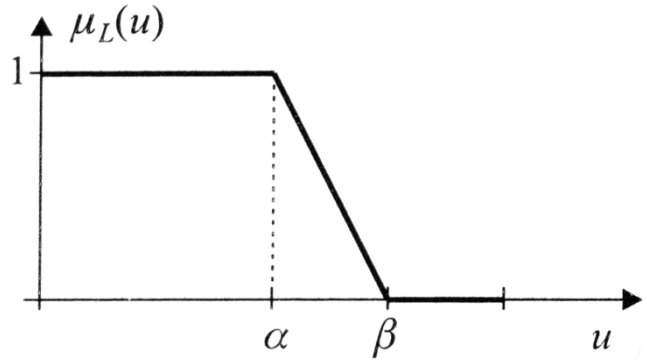
Γ-funkce



Obrázek 4 – Průběh Γ-funkce
zdroj: 1, str. 23

$$\Gamma(u, \alpha, \beta) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u-\alpha)/(\beta-\alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & u > \beta \end{cases}$$

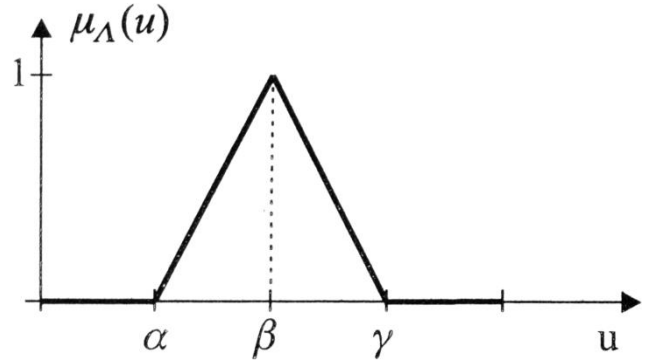
L-funkce



Obrázek 5 – Průběh L-funkce
zdroj: 1, str. 23

$$\mathrm{L}(u,\alpha,\beta)=\begin{cases}0 & u<\alpha\\ (\beta-u)/(\beta-\alpha) & \alpha\le u\le\beta\\ 1 & u>\beta\end{cases}$$

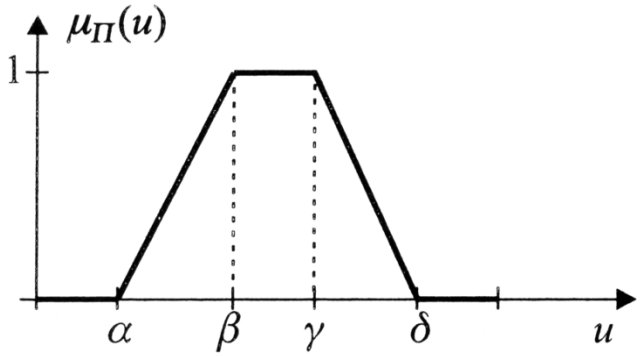
Λ-funkce



Obrázek 6 – Průběh Λ-funkce
zdroj: 1, str. 23

$$\Lambda(u,\alpha,\beta,\gamma)=\begin{cases}0 & u<\alpha\\ (u-\alpha)/(\beta-\alpha) & \alpha\le u\le\beta\\ (\gamma-u)/(\gamma-\beta) & \beta\le u\le\gamma\\ 0 & u>\gamma\end{cases}$$

Π-funkce

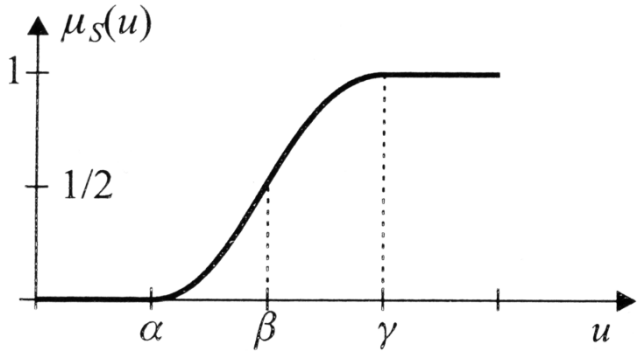


Obrázek 7 – Průběh Π-funkce
zdroj: 1, str. 24

$$\Pi(u,\alpha,\beta,\gamma,\delta) = \begin{cases} 0 & u<\alpha \\ (u-\alpha)/(\beta-\alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & \beta \leq u \leq \gamma \\ (\delta-u)/(\gamma-\delta) & \gamma \leq u \leq \delta \\ 0 & u>\delta \end{cases}$$

Jestliže je potřeba aby funkce příslušnosti neměla nespojitosti, používají se místo Γ-funkce tzv. S-funkce a obdobně upravené L-funkce, které jsou doplňkem k S-funkci. Při spojení S-funkce a jejího komplementu v bodě, kde obě funkce jsou rovny jedné, obdržíme souměrnou spojitou funkci příslušnosti. (6, str. 57)

S-funkce podle Zadeha

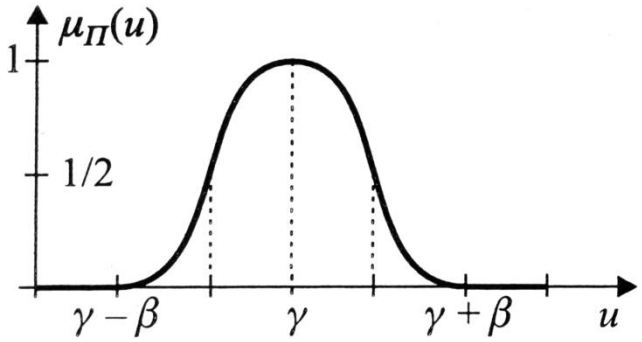


Obrázek 8 – Průběh S-funkce podle Zadeha
zdroj: 1, str. 24

$$S(u,\alpha,\gamma) = \begin{cases} 0 & u \leq \alpha \\ 2(u-\alpha)^2/(\gamma-\alpha)^2 & \alpha < u \leq \beta \\ 1-2(u-\gamma)^2/(\gamma-\alpha)^2 & \beta < u \leq \gamma \\ 1 & u > \gamma \end{cases}$$

$$\beta = (\alpha+\gamma)/2$$

Π-funkce podle Zadeha



Obrázek 9 – Průběh Π-funkce podle Zadeha
zdroj: 1, str. 25

$$\Pi(u,\beta,\gamma) = \begin{cases} S(u,\gamma-\beta,\gamma)^2 & u \leq \gamma \\ 1-S(u,\gamma,\gamma+\beta)) & u \geq \gamma \end{cases}$$

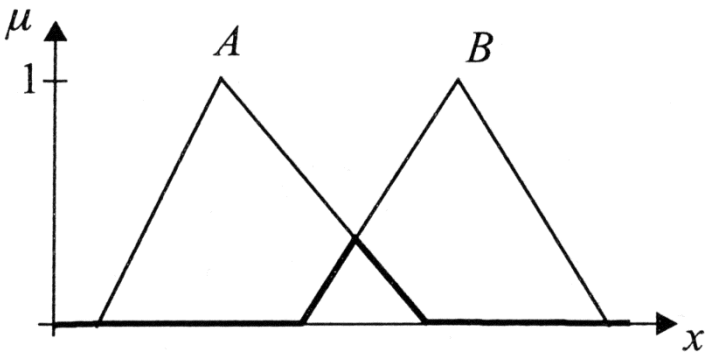
Dostál (7, str. 9) uvádí, že v praxi jsou nejpoužívanější funkce Λ, Π, S a Z. V tomto případě je S funkce chápána jako výše uvedená L funkce a Z funkce jako Γ funkce.

3.1.3 Operace s fuzzy množinami

Obdobně jako jsou u klasických množin definovány operace průniku, sjednocení a doplňku, existují stejné operace i u fuzzy množin, ale jejich interpretace není stejně jednoduchá, protože funkce příslušnosti nabývá všech hodnot v intervalu $[0,1]$. (1, str. 28)

Fuzzy množiny A a B se rovnají, tj. $A = B$, jestliže pro všechna $x \in X$ platí $\mu_A(x) = \mu_B(x)$, tzn., že se rovnají funkce příslušnosti. Fuzzy množina A je podmnožinou B, tj. $A \subseteq B$, právě tehdy, když pro všechna $x \in X$ platí $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$. (1, str. 28)

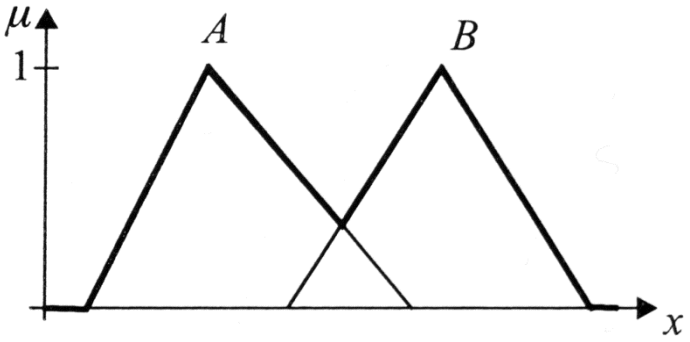
Průnik



Obrázek 10 – Průnik fuzzy množin
zdroj: 1, str. 28

$$\mu_{A \cap B}(x) = min(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

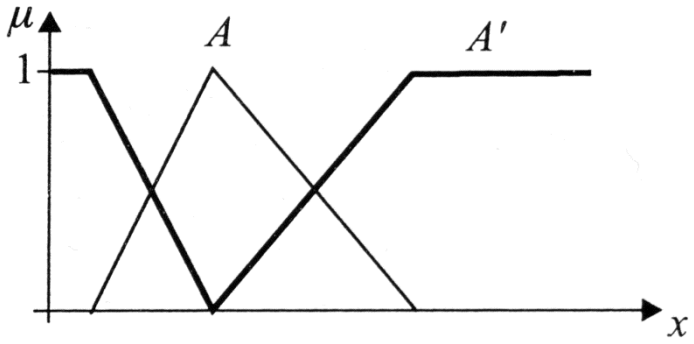
Sjednocení



Obrázek 11 – Sjednocení fuzzy množin
zdroj: 1, str. 28

$$\mu_{A \cup B}(x) = max(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

Doplněk

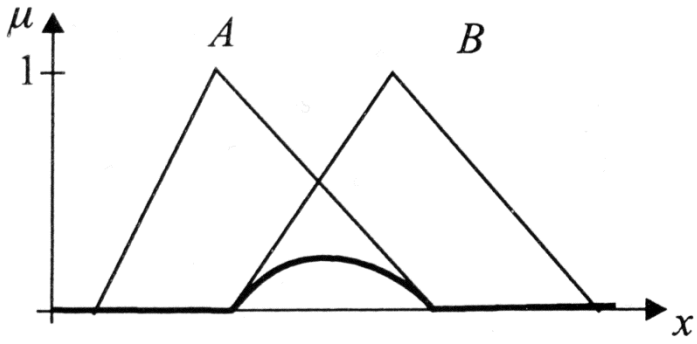


Obrázek 12 – Doplněk fuzzy množiny
zdroj: 1, str. 28

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

Výše uvedené operace definované Lotfi Zadehem mohou být definovány i jinak. Vhodnost použití konkrétní definice operace s fuzzy množinami závisí na konkrétní situaci. (1, str. 29)

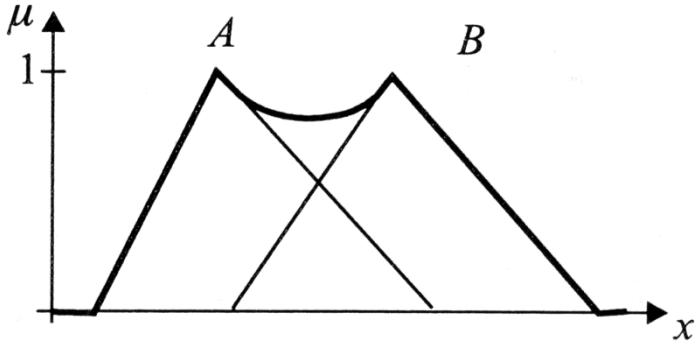
Průnik – jiná definice



Obrázek 13 – Průnik fuzzy množin podle jiné definice
zdroj: 1, str. 29

$$\mu_{A\cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$$

Sjednocení – jiná definice



Obrázek 14 – Sjednocení fuzzy množin podle jiné definice
zdroj: 1, str. 29

$$\mu_{A\cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$$

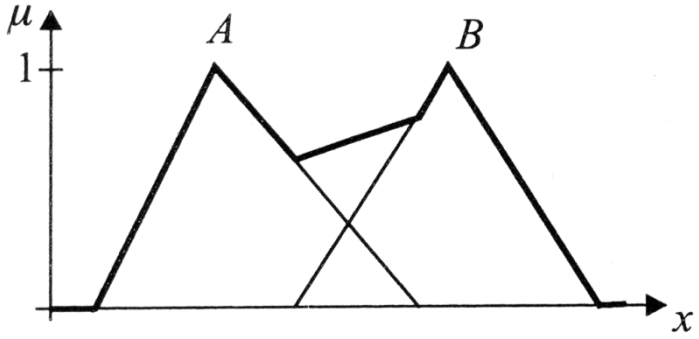
„Obecným přístupem k problematice operací průniku a sjednocení je pojem triangulární normy (t-norma) a triangulární t-konormy (s-norma). Jsou-li dána čísla $a, b, c, d \in [0,1]$, *potom t-norma* $t(a,b) = a \hat{*} b$ *je binární operací, která je obecným operátorem průniku a splňuje axiom komutativnosti, asociativnosti, monotonosti a hraniční podmínku* $a \hat{*} 1 = a$. *S-norma* $s(a,b) = a \overset{*}{\underset{\vee}{}} b$ *je binární operací, která je zobecněným operátorem sjednocení a splňuje první tři axiomy stejné jako t-norma. Čtvrtý axiom je nahrazen axiomem* $a \overset{*}{\underset{\vee}{}} 0 = a$. *Operací, které mohou reprezentovat průnik fuzzy množin (t-norma) a sjednocení fuzzy množin (s-norma), je celá řada.“* (1, str. 30)

Axiom komutativnosti: $a \hat{*} b = b \hat{*} a$

Axiom asociativnosti: $(a \hat{*} b) \hat{*} = a \hat{*} (b \hat{*} c)$

Axiom monotónnosti: $a \leq c$ and $b \leq d \Longrightarrow a \hat{*} b \leq c \hat{*} d$

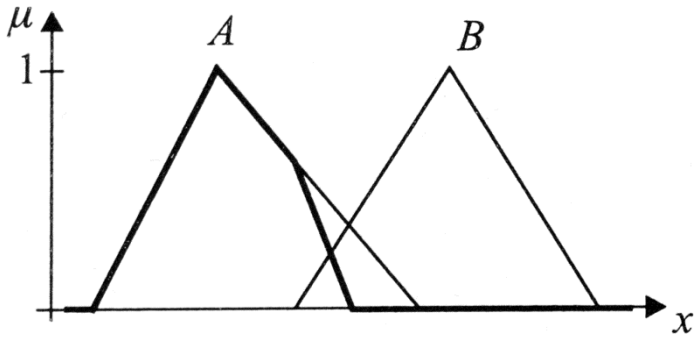
Omezený součet



Obrázek 15 – Omezený součet fuzzy množin
zdroj: 1, str. 31

$$A \oplus B = \int min\left(1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\right)/x$$

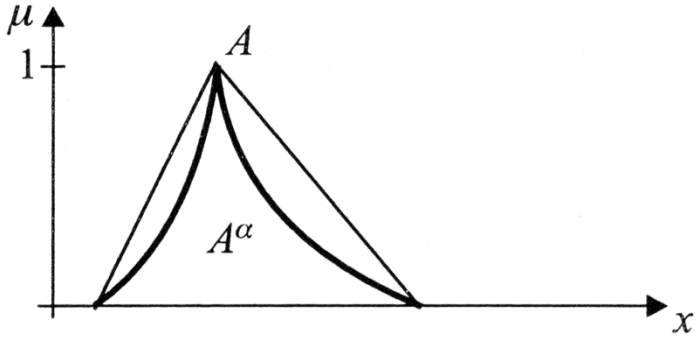
Omezený rozdíl



Obrázek 16 – Omezený rozdíl fuzzy množin
zdroj: 1, str. 31

$$A \ominus B = \int max\left(0, \mu_A(x) - \mu_B(x)\right)/x$$

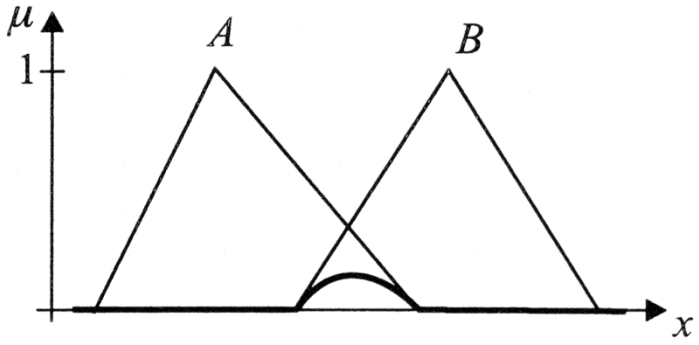
Mocnina



Obrázek 17 – Mocnina fuzzy množiny
zdroj: 1, str. 31

$$A \cdot B = \int_X \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)/x$$

Součin



Obrázek 18 – Součin fuzzy množin
zdroj: 1, str. 31

$$A^\alpha = \int_X (\mu_A(x))^\alpha /x$$

3.1.4 Fuzzy aritmetika

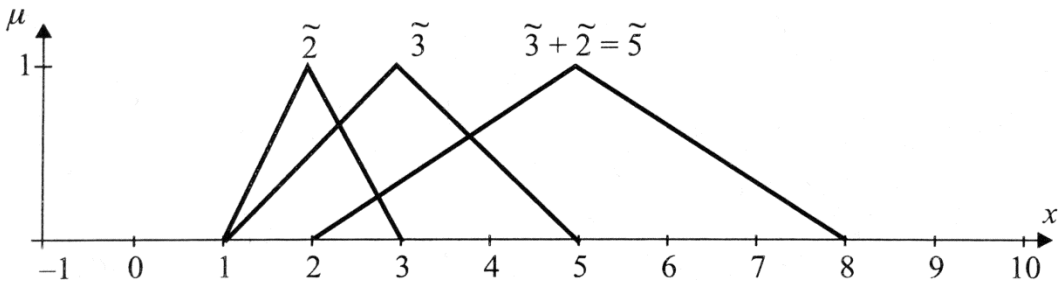
Jedna z možností, jak ve fuzzy logice pracovat s čísly, je pomocí *principu rozšíření (extension principle)*, který umožňuje převést libovolnou operaci v klasických množinách na operaci ve fuzzy množinách. Zobecněný princip rozšíření pro funkce více proměnných vypadá následovně: $\mu_f(y) = \sup_{x_1,x_2/y=x_1*x_2} min\left(\mu_{\tilde{m}}(x_1), \mu_{\tilde{n}}(x_2)\right)$. Symbol

$*$ označuje libovolnou operaci, tj. součet, rozdíl, součin a podíl, $\tilde{m}$ a $\tilde{n}$ jsou fuzzy čísla (fuzzy množiny definované na reálné ose). Podíl fuzzy čísel je definován jen pro taková $\tilde{n}$, jehož nosič neobsahuje číslo nula, tj. pro které platí $0 \notin S(\tilde{n})$. (1, str. 36-38)

Fuzzy číslo je fuzzy množina definovaná na reálné ose, která je normální, konvexní a má omezený nosič.

V dalším textu budou jako ukázka použity trojúhelníkové funkce příslušnosti. Obecně mohou být i jiného tvaru, musí však splňovat výše uvedené podmínky pro fuzzy číslo. (1, str. 36-37)

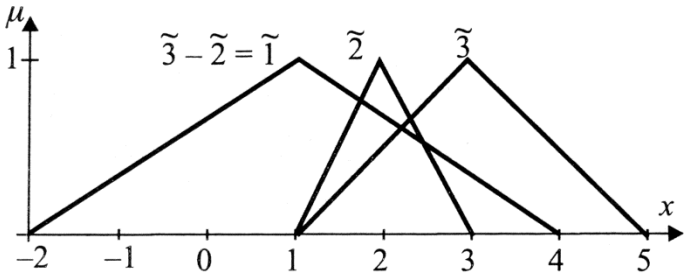
Součet fuzzy čísel



Obrázek 19 – Součet fuzzy čísel
zdroj: 1, str. 39

Součet fuzzy čísel je definován takto: $\mu_{\tilde{m}+\tilde{n}}(y) = \sup_{x_1,x_2/y=x_1+x_2} min\left(\mu_{\tilde{m}}(x_1), \mu_{\tilde{n}}(x_2)\right) = \sup_{x_1 \in R} min\left(\mu_{\tilde{m}}(x_1), \mu_{\tilde{n}}(y - x_1)\right)$.
Obrázek 19 ukazuje součet fuzzy čísla $\tilde{m} = \tilde{3}$ s funkcí příslušnosti $\Lambda(x_1, 1{,}3{,}5)$ a fuzzy čísla $\tilde{n} = \tilde{2}$ s funkcí příslušnosti $\Lambda(x_2, 1{,}2{,}3)$. Výsledkem je fuzzy číslo $\tilde{5}$ s funkcí příslušnosti $\Lambda(y, 2{,}5{,}8)$. (1, str. 38-39)

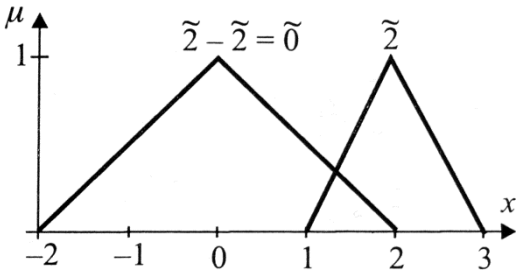
Rozdíl fuzzy čísel



Obrázek 20 – Rozdíl fuzzy čísel 1
zdroj: 1, str. 40

Rozdíl dvou fuzzy čísel vypadá následovně: $\mu_{\tilde{m}-\tilde{n}}(y) = \sup_{x_1,x_2/y=x_1-x_2} min\left(\mu_{\tilde{m}}(x_1), \mu_{\tilde{n}}(x_2)\right) = \sup_{x_1 \hat{I} R} min\left(\mu_{\tilde{m}}(x_1), \mu_{\tilde{n}}(x_1 - y)\right)$.

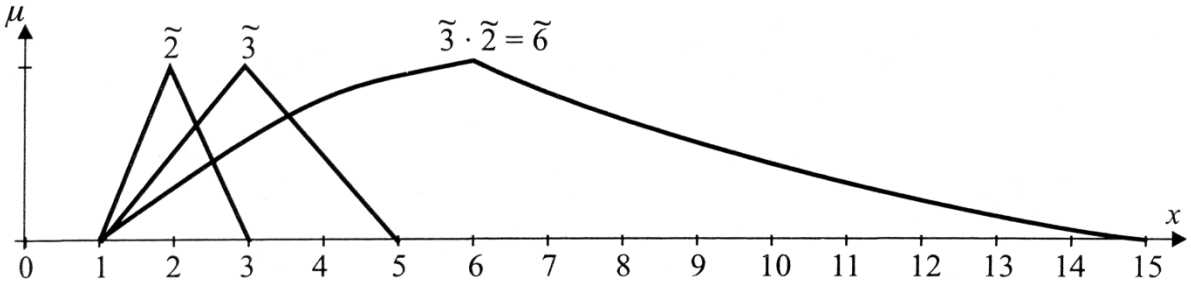
Obrázek 20 znázorňuje rozdíl fuzzy čísla $\tilde{3}$ s funkcí příslušnosti $\Lambda(x_1, 1{,}3{,}5)$ a fuzzy čísla $\tilde{2}$ s funkcí příslušnosti $\Lambda(x_2, 1{,}2{,}3)$. Výsledkem je fuzzy číslo $\tilde{1}$ s funkcí příslušnosti $\Lambda(y, -2{,}1{,}4)$. (1, str. 39-40)



Obrázek 21 – Rozdíl fuzzy čísel 2
zdroj: 1, str. 40

Na obrázku 21 vidíme, že rozdíl dvou stejných fuzzy čísel není ostrá hodnota 0, ale fuzzy číslo „přibližně 0“, tj. $\tilde{0}$. (1, str. 40)

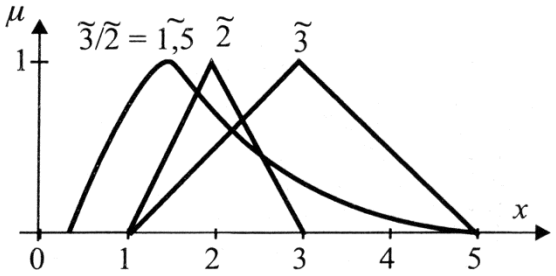
Součin fuzzy čísel



Obrázek 22 – Součin fuzzy čísel
zdroj: 1, str. 41

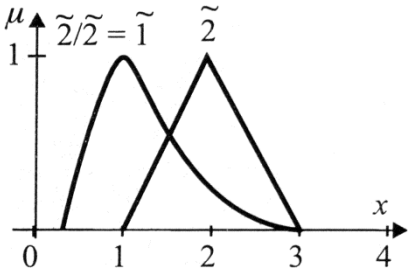
Pro součin dvou fuzzy čísel platí: $\mu_{\tilde{m}\cdot\tilde{n}}(y) = \sup_{x_1,x_2/y=x_1\cdot x_2} min\left(\mu_{\tilde{m}}(x_1), \mu_{\tilde{n}}(x_2)\right) = \sup_{x_1\in R} min\left(\mu_{\tilde{m}}(x_1), \mu_{\tilde{n}}(y/x_1)\right)$. Obrázek 22 znázorňuje výsledek součinu fuzzy čísel $\tilde{3}$ s funkcí příslušnosti $\Lambda(x_1, 1{,}3{,}5)$ a fuzzy čísla $\tilde{2}$ s funkcí příslušnosti $\Lambda(x_2, 1{,}2{,}3)$, který je „přibližně 6“, tj. $\tilde{6}$. (1, str. 40-41)

Podíl fuzzy čísel



Obrázek 23 – Podíl fuzzy čísel 1
zdroj: 1, str. 42

Podíl dvou fuzzy čísel je pomocí principu rozšíření definován: $\mu_{\tilde{m}/\tilde{n}}(y) = \sup_{x_1,x_2/y=x_1/x_2} min\left(\mu_{\tilde{m}}(x_1), \mu_{\tilde{n}}(x_2)\right) = \sup_{x_1\in R} min\left(\mu_{\tilde{m}}(x_1), \mu_{\tilde{n}}(x_1/y)\right)$. Obrázek 23 zobrazuje rozdíl fuzzy čísel $\tilde{3}$ s funkcí příslušnosti $\Lambda(x_1, 1{,}3{,}5)$ a $\tilde{2}$ s funkcí příslušnosti $\Lambda(x_2, 1{,}2{,}3)$. Výsledkem této operace je fuzzy číslo $\widetilde{1{,}5}$. (1, str. 41-42)



Obrázek 24 – Podíl fuzzy čísel 2
zdroj: 1, str. 42

Obrázek 24 ukazuje, že podíl stejných fuzzy čísel není ostrá hodnota 1, ale také fuzzy číslo $\tilde{1}$, tj. „přibližně 1“. (1, str. 42)

Druhou možností, jak lze ve fuzzy logice využívat základních aritmetických operací, je užití *intervalové aritmetiky*. Pro sčítání, odčítání, násobení a dělení jsou tato pravidla:

Sčítání: $[a,b]+[c,d]=[a+c,b+d]$

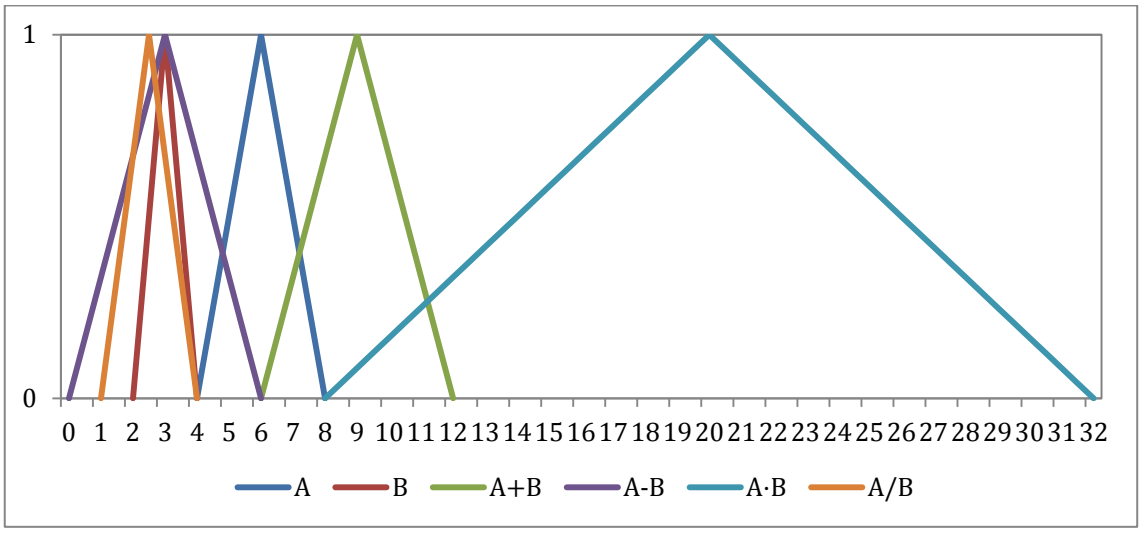
Odčítání: $[a,b]-[c,d]=[a-d,b-c]$

Násobení: $[a,b]\cdot[c,d]=[min(ac,ad,bc,bd),max(ac,ad,bc,bd)]$

Dělení: $[a,b]/[c,d]=\left[min\left(\frac{a}{c},\frac{a}{d},\frac{b}{c},\frac{b}{d}\right),max\left(\frac{a}{c},\frac{a}{d},\frac{b}{c},\frac{b}{d}\right)\right]$

$[a,b]$ a $[c,d]$ jsou dva uzavřené intervaly na reálné ose, podíl je definován za předpokladu, že $0 \notin [c,d]$. (4, str. 9)

Na obrázku 25 jsou znázorněny operace sčítání, odčítání, násobení a dělení množin $A=[4,8]$ a $B=[2,4]$: $A+B=[6,12]$, $A-B=[0,6]$, $A\cdot B=[8,32]$ a $A/B=[1,4]$.



Obrázek 25 – Aritmetické operace pomocí intervalové aritmetiky

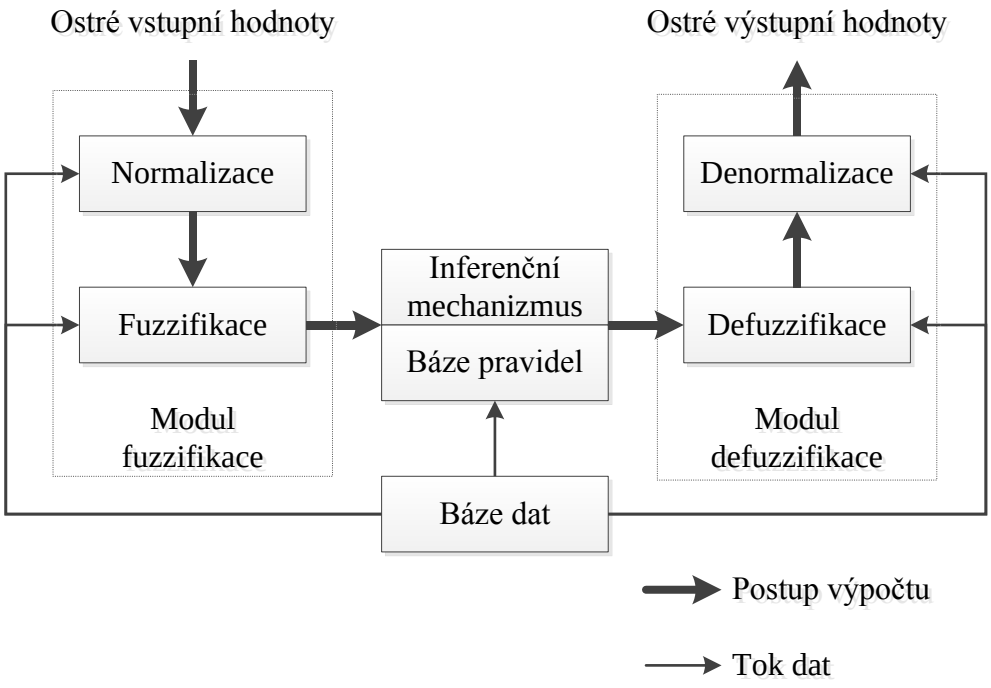
3.1.5 Fuzzy zpracování

Proces fuzzy zpracování prochází ve fuzzy systému třemi základními kroky: fuzzifikací, fuzzy inferencí a defuzzifikací. Podrobněji se dají tyto kroky rozepsat podle Tůmy (5, str. 135-165) následně:

1. Měření vstupních veličin.
2. Zobrazení změřených veličin ve vhodném měřítku – normalizace.
3. Převedení vstupních dat na fuzzy data – fuzzifikace.
4. Fuzzy odvození výstupní fuzzy množiny – fuzzy inference.
5. Nalezení výstupní ostré množiny – defuzzifikace.

Do systému vstupují ostré množiny proměnných, které jsou následně normovány a fuzzifikovány, tj. převedeny na vstupní fuzzy množiny. Dalším krokem je odvození výstupních fuzzy množin pomocí inferenčního mechanizmu na základě báze pravidel. V poslední fázi jsou fuzzy množiny převedeny na množiny ostré.

Grafické znázornění tohoto procesu je na obrázku 26. V modulu fuzzifikace je agregována normalizace vstupních ostrých dat a jejich fuzzifikace, modul defuzzifikace slučuje defuzzifikaci a denormalizaci dat.



Obrázek 26 – Struktura fuzzy systému
zdroj: 1, str. 76

Normalizace

Normalizace spočívá v transformaci vstupních dat na určitý předem stanovený interval, např. $[0,1]$ nebo $[-10,10]$.

Fuzzifikace

Fuzzifikace znamená převedení vstupních ostrých proměnných na lingvistické proměnné, určení stupně příslušnosti, k čemuž je potřeba stanovit tvar funkce

příslušnosti, který může být stanoven předem nebo odhadnut z dat. Základní typy členských funkcí jsou popsány v kapitole 3.1.2. Počet fuzzy množin se nejčastěji volí jako liché číslo z intervalu [3,9], vyšší počet je spíše výjimečný. Tento rozsah vychází z různých experimentů, psychologie a fyziologie člověka. (6, str. 54)

Tabulka 2 – Typické označení fuzzy hodnot
zdroj: 5, str. 128

Význam – hodnota	České označení	Anglické označení
velká záporná / negative big	ZV	NB
střední záporná / negative middle	ZS	NM
malá záporná / negative small	ZM	NS
záporná blízká nule / negative zero	ZN	NZ
nulová / zero	N	Z
kladná blízká nule / pozitive zero	KN	PZ
malá kladná / pozitive small	KM	PS
střední kladná / pozitive middle	KS	PM
velká kladná / pozitive big	KV	PB

Americký psycholog George Armitage Miller v roce 1956 zpracoval studii *The Magical Number Seven, Plus or Minus Two*, ve které zkoumal kolik úrovní je schopen člověk rozlišit na základě svých smyslů. Došel k závěru, že těchto úrovní je 7±2. Viz tabulka 3.

Tabulka 3 – Počet rozlišitelných úrovní pomocí smyslů
zdroj: 6, str. 55

Stimulace	Proměnná	Aktivní smysl	Počet
zvuk	výška	sluch	6
zvuk	hlasitost	sluch	5
slanost	koncentrát soli	chuť	4
bod	poloha	zrak	10-15
čtverec	obsah	zrak	5
světlo	barva	zrak	9
světlo	jas	zrak	5
vibrace	intensita	hmat	4
vibrace	trvání	hmat	5
vibrace	lokace	hmat	7
čára	délka	zrak	6-8
směr	úhel	zrak	7-10
oblouk	křivost	zrak	2-5
střední hodnota			**6,5**
směrodatná odchylka			**1,5**

V roce 1974 publikoval americký vědec Herbert Alexander Simon studii *How Big Is a Chunk?*, ve které se zabýval rozlišitelností více abstraktních veličin – sémantických bloků. Zjišťoval, kolik si člověk dokáže zapamatovat náhodných slabik, slov, čísel apod. Došel k výsledku 5±2. Vybrané výsledky v tabulce 4.

Tabulka 4 – Počet sémantických bloků
zdroj: 6, str. 55

Stimulace	Proměnná	Počet
jednotlivá slova	počet slabik	5-7
věty	počet slov	2-4
čísla	počet čísel	8
čísla	věk	2-8

Novější psychologická studie *The Magical Number Three, Plus or Minus Zero* z roku 1988 od Johna Nelsona Warfielda tvrdí, že se člověk snaží snižovat počet alternativ při rozhodování a integraci znalostí na tři. (6, str. 54)

Fuzzy inference

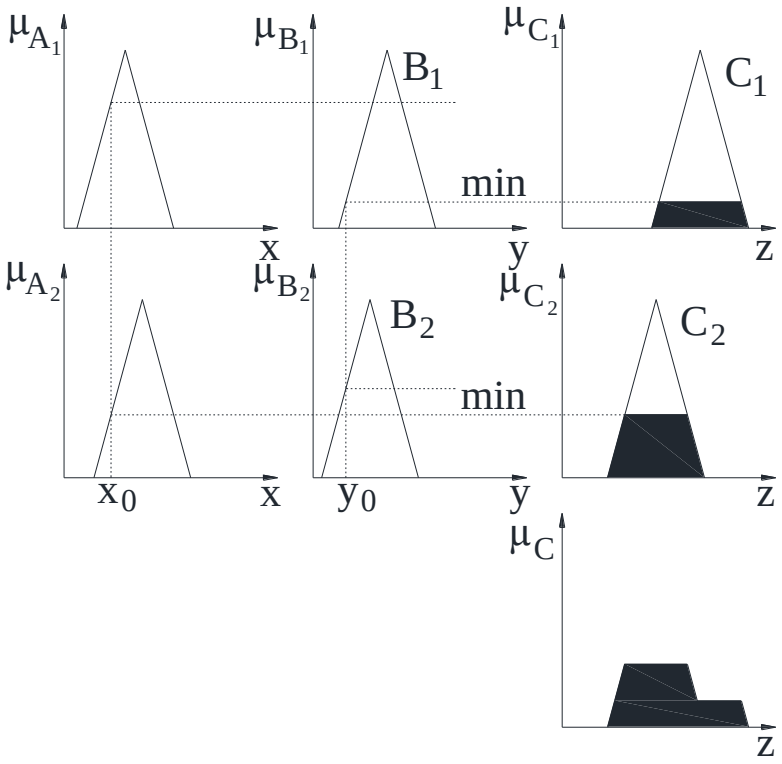
Fuzzy inference odvozuje výstupní fuzzy množiny na základě báze pravidel a zvolené inferenční implikaci. Báze pravidel určuje chování celého systému, je zadána pomocí jazykových pravidel *když, a, nebo, potom je, potom není, jinak, s váhou*, a tvoří jádro expertního systému. Výstupem fuzzy inference je jazyková proměnná. (4, str. 11-12)

Obecný tvar pravidel[2] vypadá následovně:
<Když> $Vstup_a$ <A> $Vstup_b$ … $Vstup_x$ <A> $Vstup_y$ … <Potom> $Výstup_1$ <S váhou> z, kde $z \in \langle 0,1 \rangle$. (8, str. 16)

Podmínka je tedy tvořena implikací dvou fuzzy výroků: <když> *fuzzy* $výrok_1$ <potom> *fuzzy* $výrok_2$. První fuzzy výrok je *antecedent* (premisa, předpoklad), druhý fuzzy výrok *konsekvent* (závěr). (1, str. 48)

[2] Petr Hájek označuje fuzzy pravidla též jako fuzzy IF-THEN-pravidla. (9, str. 79)

Nejčastěji užívanou implikací je *Mamdaniho implikace*, která hledá minima z aktivních členských funkcí: $\mu_{R_c}(x,y) = min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}$. Na obrázku 27 je znázorněn postup Mamdaniho implikace pro dvourozměrný případ obsahující dvě pravidla, konečný výsledek implikace je vpravo dole.



Obrázek 27 – Mamdaniho implikace
zdroj: 5, str. 134

K dalším implikacím patří například (6, str. 47-48):

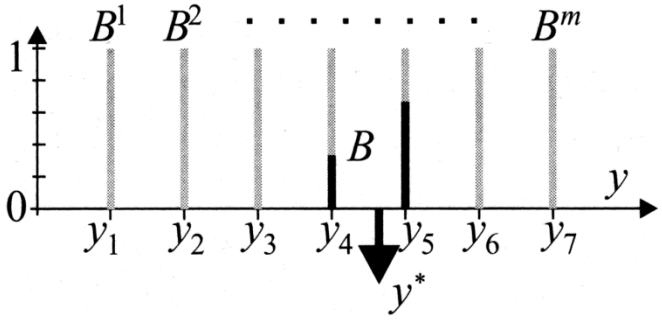
- *Larsenova implikace* $\mu_{R_L}(x,y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(y)$
- *Kleene-Dienesova implikace* $\mu_{R_1}(x,y) = max\big(1 - \mu_A(x), \mu_B(y)\big)$
- *Łukasiewiczova implikace* $\mu_{R_2}(x,y) = min\{1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y)\}$
- *Zadehova implikace* $\mu_{R_m}(x,y) = max\{min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}, 1 - \mu_A(x)\}$
- *Stochastická implikace* $\mu_{R_*}(x,y) = min\{1, 1 - \mu_A(x) + \mu_A(x)\mu_B(y)\}$
- *Goguenova implikace* $\mu_{R_\Delta}(x,y) = min\left\{1, \frac{\mu_B(y)}{\mu_A(x)}\right\}$

- *Gödelova implikace* $\mu_{R_g}(x,y) = \begin{cases} 1 & pro\ \mu_A(x) \le \mu_B(y) \\ \mu_A(x) & jinak \end{cases}$
- *Sharpova implikace* $\mu_{R_s}(x,y) = \begin{cases} 1 & pro\ \mu_A(x) \le \mu_B(y) \\ 0 & pro\ \mu_A(x) > \mu_B(y) \end{cases}$
- *Obecná implikace* $\mu_{R_{\alpha\beta}}(x,y) = min\left\{\left(\mu_A(x) \underset{\alpha}{\rightarrow} \mu_B(y)\right), \left(1 - \mu_A(x)\right) \underset{\beta}{\rightarrow} \left(1 - \mu_B(y)\right)\right\}$

Defuzzifikace

Defuzzifikace je proces, který jazykové proměnné, resp. fuzzy množině vypočtené během fuzzy inference přiřazuje ostrou výstupní hodnotu y^* tak, aby co nejlépe popisovala tuto množinu. Pro defuzzifikaci se využívá několika metod, nejpoužívanější je *metoda středu plochy*. (5, str. 142)

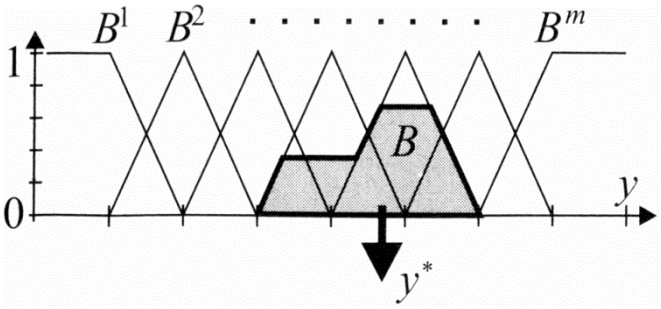
Pro zjednodušení výpočtu lze jako výstupní členskou funkci zvolit tzv. *singleton*, který je na rozdíl od ostatních standartních členských funkcí tvořen jednou ostrou čarou na pozici jazykové hodnoty. (1, str. 66-67)



Obrázek 28 – Defuzzifikace COA členské funkce singleton
zdroj: 1, str. 67

Často používané metody pro defuzzifikaci jsou například:

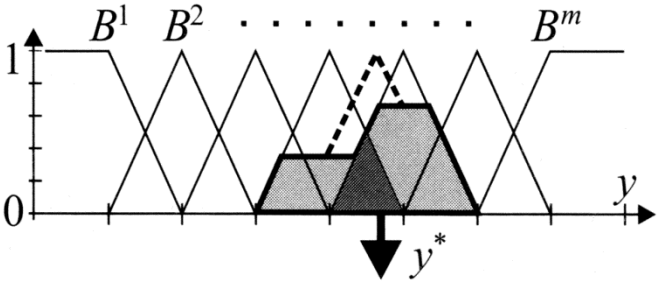
- *Metoda středu plochy* (*Center of Area*) – ostrá hodnota je určena jako souřadnice těžiště plochy sjednocených výstupních fuzzy množin. Při výpočtu nejsou zohledněny překrytí jednotlivých funkcí, plocha překrytí je započtena pouze jednou.



Obrázek 29 – Metoda defuzzifikace COA
zdroj: 1, str. 67

$$y^* = \frac{\int_Y \ y \cdot \mu_B(y)dy}{\int_Y \ \mu_B(y)dy}$$

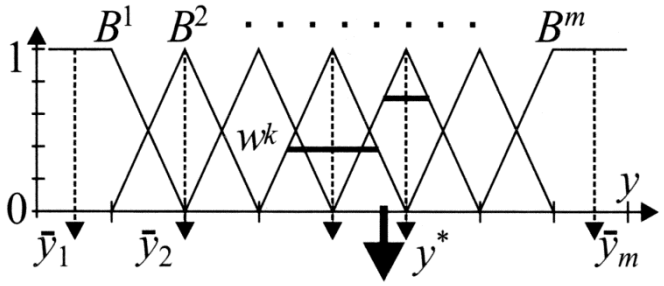
- *Metoda středu součtů* (*Center of Sum*) – obdoba předchozí metody, při výpočtu je zohledněno překrytí funkcí tak, že se sečtou hodnoty funkcí všech pravidel a z nich se následně určí těžiště.



Obrázek 30 – Metoda defuzzifikace COS
zdroj: 1, str. 68

$$u^* = \frac{\int_Y \ y \cdot \Sigma_{k=1}^{r} \mu_k(y)dy}{\int_Y \ \Sigma_{k=1}^{r} \mu_k(y)dy} \qquad y^* = \frac{\Sigma_{j=1}^{m} y_j \cdot \Sigma_{k=1}^{r} \mu_k(y_j)}{\Sigma_{j=1}^{m} \Sigma_{k=1}^{r} \mu_k(y_j)}$$

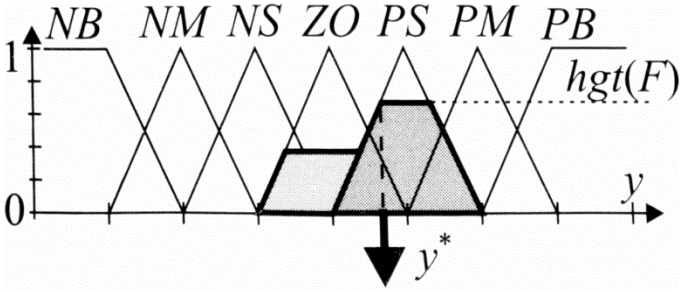
- *Metoda průměru středů* (*Center Average Method*) – ostrá hodnota je váženým průměrem špičkových hodnot všech fuzzy množin.



Obrázek 31 – Metoda defuzzifikace CAM
zdroj: 1, str. 68

$$y^* = \frac{\sum_{k=1}^{r} \bar{y}^k w^k}{\sum_{k=1}^{r} w^k}$$

- *Metoda prvního maxima* (First of Maximum) – ostrá hodnota je nejmenší hodnotou, která má maximální stupeň příslušnosti v defuzzifikované fuzzy množině. Tato metoda je také často označována jako Smallest of Maximum – *metoda nejmenšího maxima*.

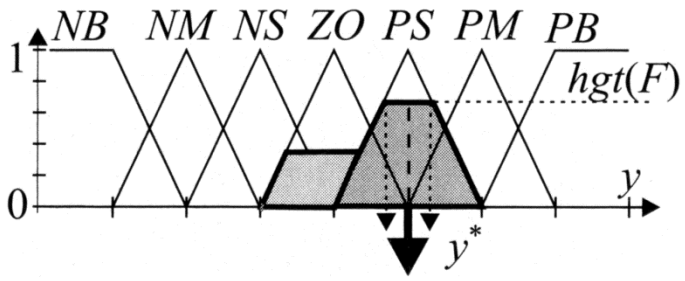


Obrázek 32 – Metoda defuzzifikace FoM
zdroj: 1, str. 69

$$y^* = \underset{y \in Y}{inf}\{y \in Y / \mu_F(y) = hgt(F)\}$$

- *Metoda posledního maxima* (*Last of Maximum*) – obdoba předchozí metody, jako ostrá hodnota je brána největší hodnota s maximálním stupněm příslušnosti.

- *Metoda středu maxima* (*Middle of Maximum*) – metoda kombinující dvě předchozí metody, ostrá hodnota je aritmetickým průměrem prvního a posledního maxima.



Obrázek 33 – Metoda defuzzifikace MoM
zdroj: 1, str. 69

3.1.6 Historie fuzzy logiky a fuzzy množin

Počátky moderní vícehodnotové logiky začínají rokem 1920. Prvním moderním systémem, který vzal v potaz kromě pravdy a nepravdy třetí možnost, byla trojhodnotová logika prezentovaná polským logikem Janem Łukasiewiczem. Třetí možnost nazval „mezipravdou“, která je v níže uvedené tabulce označena číslem 0,5. V průběhu dvacátého století bylo navrženo mnoho systémů čtyřhodnotových a pětihodnotových logik. Ve třicátých letech Łukasiewicz svou tříhodnotovou logiku rozšířil o nekonečně mnoho pravdivostních hodnot a v podstatě tak položil základy vícehodnotové logice. Mnoho dalších logiků vycházelo z jeho práce. (10, str. 361-370)

Tabulka 5 – Pravdivostní hodnoty Łukasiewiczovy trojhodnotové logiky
zdroj: 5, str. 111

	A	B	$\neg A$	$A \wedge B$	$A \vee B$	$A \Longrightarrow B$	$A \Longleftrightarrow B$
1.	1	1	0	1	1	1	1
2.	1	0	0	0	1	0	0
3.	1	0,5	0	0,5	1	0,5	0,5
4.	0	1	1	0	1	1	0
5.	0	0	1	0	0	1	1
6.	0	0,5	1	0	0,5	1	0,5
7.	0,5	1	0,5	0,5	1	1	0,5
8.	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5	0,5
9.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1

První axiomatizace Łukasiewiczovy trojhodnotové logiky byla představena M. Wajbergem v roce 1931. Další důležité práce se objevily v padesátých letech, například práce A. Roseho, J. B. Rossera nebo A. R. Turquetta, které se později na několik let staly základním zdrojem informací o mnohohodnotové logice. C. C. Chang publikoval dvě seminární práce, ve kterých prokázal úplnost Łukasiewiczových axiomů a demonstroval, že důležité teoretické výsledky lze získat pomocí hlubokého algebraického studia struktury pravdivostních hodnot. Chang mimo jiné představil koncept MV-algebry. Od té doby se práce zrychlila. (11, str. 299-300)

Prvním člověkem, který se začal zabývat jiným než pravděpodobnostním pohledem na neurčitost po filozofické stránce, byl americký filozof Max Black, narozen stejně jako Lotfi Zadeh v Ázerbájdžánském městě Baku. V roce 1937 byl Blackovi publikován článek *Vagues: An exercise in logical analysis* (česky Vágnost: Cvičení v logické analýze), ve kterém Black zavedl pojem vágnost. Článek v té době neměl velký ohlas. Když byl tento článek o dvacet pět let později znovuotištěn u příležitosti výročí prvního článku o fuzzy množinách, málokdo poznal jak starý text to ve skutečnosti je. (6, str. 4)

Za zakladatele fuzzy množin je považován Lotfi Askar Zadeh, který v roce 1965 publikoval šestnáctistránkový článek *Fuzzy sets*, kde byl poprvé použit termín fuzzy množina. Jak už bylo řečeno výše, jeho myšlenka spočívala v množinách s neostrou hranicí – fuzzy množinách. Každá klasická množina může být jednoznačně popsána pomocí funkce, fuzzy množina je určitým zobecněním klasické množiny, kterou lze popsat pomocí funkce na intervalu. Interval byl původně navrhnut v rozmezí $[0, 1]$. Zadeh definoval fuzzy množiny následovně:

„A fuzzy set is a class of objects with a continuum of grades of membership. Such a set is characterized by a membership (characteristic) function which assigns to each object a grade of membership ranging between zero and one. The notions of inclusion, union, intersection, complement, relation, convexity, etc., are extended to such sets, and various properties of these notions in the context of fuzzy sets are established. In particular, a separation theorem for convex fuzzy sets is proved without requiring that the fuzzy sets be disjoint.“ (12, str. 338)

Volně přeloženo: *„Fuzzy množina je soubor prvků s kontinuem stupňů členství. Taková množina je charakteristická členskou funkcí, která přiřazuje každému prvku stupeň členství v rozsahu nula až jedna. Operace jako inkluze, sjednocení, průnik, komplement, relace, konvexnost, atd. jsou rozšířeny i na tyto množiny. Oddělením teorému pro konvexní fuzzy množiny je prokázáno bez nutnosti disjunktních fuzzy množin.“*

Dále v úvodu článku Zadeh zmiňuje: *„Soubor všech reálných čísel větších než jedna, soubor krásných žen nebo soubor vysokých lidí netvoří množinu v obvyklém matematickém smyslu. Přesto přesně takto definované soubory hrají důležitou roli v lidském myšlení, zvláště v oblastech rozpoznávání vzorů, předávání informací a abstrakce.“*

V roce 1967 navrhl Joseph Amadee Goguen, Zadehův student, zobecnění fuzzy množin do L svazu ve stati nazvané *L-fuzzy sets*. Propojení s vícehodnotovou logikou bylo poprvé demonstrováno také Goguenem v příspěvku *The logic of inexact concepts*, který byl inspirací k dalšímu rozvoji fuzzy logiky v užším slova smyslu. Vícehodnotová logika a fuzzy logika se začaly vyvíjet paralelně a vzájemně se ovlivňovaly. (11, str. 300)

Do poloviny sedmdesátých let nebylo publikováno mnoho prací, ale ty co byly, se staly klíčové pro budoucí rozvoj fuzzy logiky. V této době patřily k nejdůležitějším práce L. A. Zadeha (například *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*), E. H. Mamdaniho a S. Assiliana, kde se poprvé objevil koncept fuzzy kontroly. Zmínění autoři iniciovali rychlý rozvoj fuzzy logiky a později na konci osmdesátých let odstartovali fenomén nazývaný „fuzzy boom“. (11, str. 300)

Další směr, který je někdy začleňován do fuzzy logiky je teorie pravděpodobnosti taktéž započatá Zadehem, která se stala základem možnostní logiky. Hlavními přispěvateli do této logiky byli Didier Dubois a Henri Prade, společně publikovali monografii *Possibility Theory: An Approach to Computerized Processing of Uncertainty*. Možnostní logika se zabývá spíše nejistotou než vágností. (11, str. 300)

Konec sedmdesátých let a osmdesátá léta dvacátého století lze charakterizovat jako algebraický rozvoj různých aspektů fuzzy logiky. V této době se objevily pokusy o formulaci principů rezoluce, byly studovány možnosti rozšíření fuzzy logiky a zobecnění logiky klasické, například jazyková logika, která se zabývá nepřesně vyjádřenými pravdivostními hodnotami nebo různé modely přibližného usuzování či lineární logika. (11, str. 300)

Průlom ve fuzzy logice v úzkém slova smyslu nastal díky Janu Pavelkovi, který se zabýval výrokovou fuzzy logikou. Jeho práce obsahuje definici výrokovou fuzzy logikou ohodnocenou syntaxi a sémantiku a obsahuje také důkaz o kompletnosti teorému a metateorém, který říká, že fuzzy logika se spojkou implikace a s množinou pravdivostí z intervalu [0,1] může být syntakticko-sémanticky kompletní pouze tehdy, jestliže je odpovídající operace implikace spojitá. Pavelkovy přínosy nebyly ve své době, podobně jako Blackovy práce, prakticky vůbec zaznamenány. Koncem osmdesátých let dvacátého století byl tento obor fuzzy logiky rozšířen profesorem Vilémem Novákem, který zobecnil Gödelův teorém kompletnosti. V roce 1986 publikoval V. Novák knihu *Fuzzy množiny a jejich aplikace*, ve které sjednocuje pohled na fuzzy logiku na základě výše uvedených závěrech. (11, str. 300-301)

Od poloviny osmdesátých let dvacátého století se rychle zvyšuje zájem o fuzzy logiku. Na tomto růstu se podílelo hlavně Japonsko svými praktickými a neustále zmiňovanými aplikacemi fuzzy logiky do koncových zařízení, jako jsou například fotoaparáty, pračky nebo řízení vlaků v metru. Doposud bylo o fuzzy logice publikováno několik desítek knih a jejich počet dále narůstá. (11, str. 301)

Poslední roky můžeme charakterizovat jako silnou snahu o vytvoření striktně formální fuzzy logiky založené na algebraických výsledcích, zejména na MV-algebře. Na této práci se podílí zejména italská škola vedená Antoniem di Nolim, Danielem Mundicem a Robertem Cignolim a škola španělská, kam náleží zejména Francesc Esteva a Lluís Godo. Kromě algebraického výzkumu probíhá souběžně stejně hluboký výzkum v teorii T-norem. V této oblasti se angažují například Erich Peter Klement, Radko Mesiar, Endre Pap, János Fodor, Bernard De Baets. (11, str. 301)

Významnou roli při striktní formalizaci fuzzy logiky sehrál český profesor Petr Hájek, který v monografii *Metamathematics of Fuzzy Logic* z roku 1998 shrnul mnoho důležitých závěrů a shrnul svůj pohled na tuto problematiku. Mnoho z jeho metateorií je založeno na vysoce abstraktních, ale významných výsledcích Ulricha Höhleho a na již zmíněných výsledcích z oblasti T-norem. Höhleho práce je zaměřena jak na algebraickou část, tak na teoretickou část. Pozdější práce jsou součástí širšího programu, který je zaměřen na formální rozvoj teorie fuzzy množin. (11, str. 301)

4 Analýza problému a současné situace

4.1 Představení společnosti

„OHL ŽS, a.s. je dynamická multioborová stavební firma s více než šedesátiletou tradicí, která patří k největším a nejvýznamnějším stavebním společnostem v České republice. Společnost zabezpečuje rekonstrukce, modernizace a realizace staveb v ČR i zahraničí, zaměřuje se na komplexní realizaci nejrůznějších stavebních děl, jejich modernizaci, rekonstrukci a údržbu dle potřeb a přání zákazníků.“ (13)

Obrázek 34 – Logotyp OHL ŽS, a.s.

Obchodní firma:	OHL ŽS, a.s.
Sídlo:	Burešova 938/17, Veveří, 602 00 Brno
IČO:	46342796
Datum založení:	31. 3. 1992
Právní předchůdce:	Železniční stavitelství Brno, státní podnik
Předmět podnikání:	Hlavní činností společnosti jsou komplexní dodávky stavebních prací v oboru drážních staveb, silničních a inženýrských staveb, pozemních staveb a sanací. (14, str. 4-6)
Základní kapitál:	486 463 000 Kč
Představenstvo:	Ing. Michal Štefl (předseda) Manuel Viciana Pedrosa (1. místopředseda) Paolo Bee, MBA (2. místopředseda) Václav Bartoněk (člen) Carmen Escribano Guzmán (člen) Javier Luis Rodríguez del Val (člen)

Ing. Tomáš Nossek (člen)

Dozorčí rada: Francisco Marín Andrés (předseda)

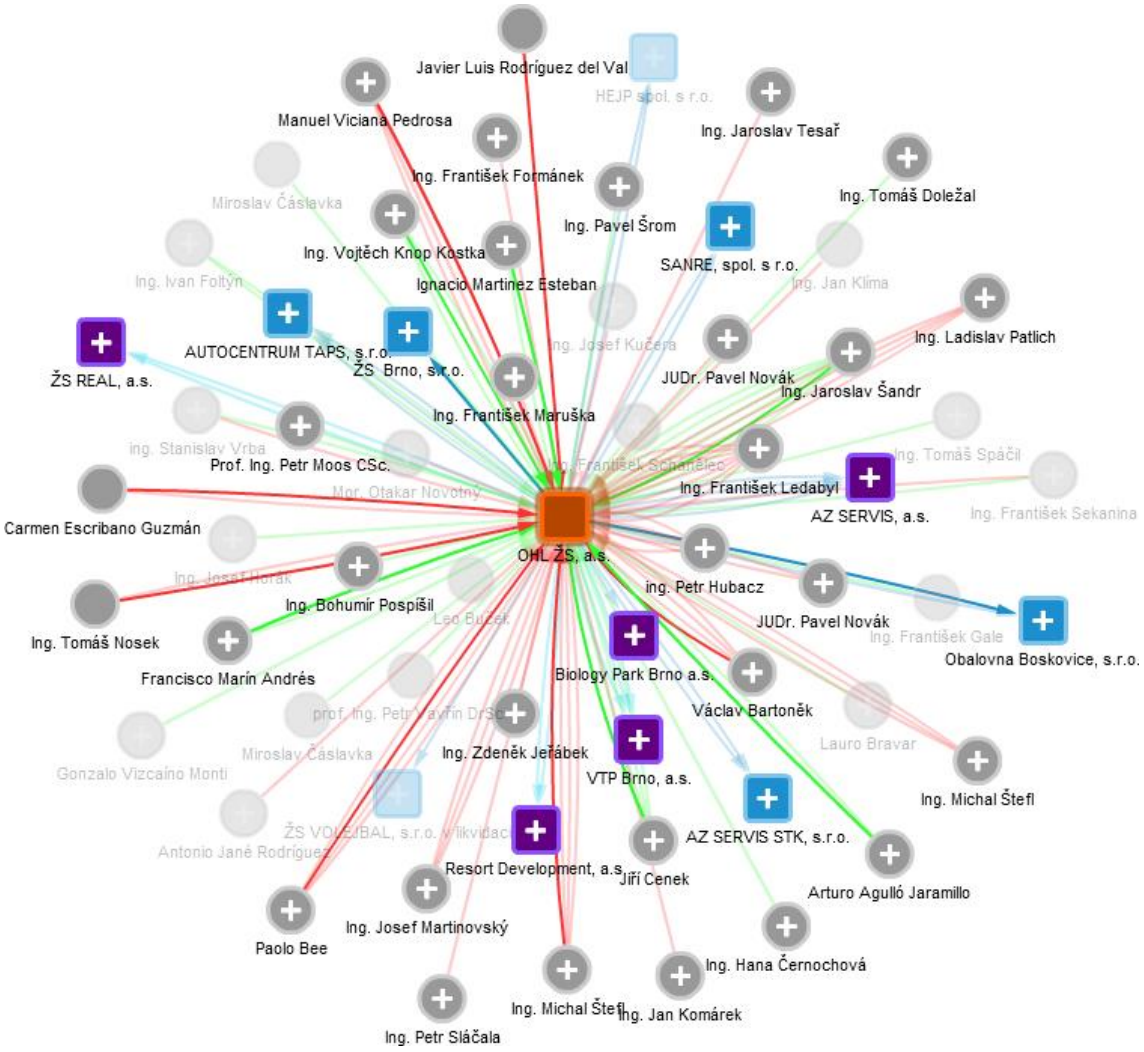
Jiří Cenek (člen)

Ing. Vojtěch Knop-Kostka (člen)

Ing. Jaroslav Šandr (člen)

Ignacio Martinez Esteban (člen)

Arturo Agulló Jaramillo (člen) (15)

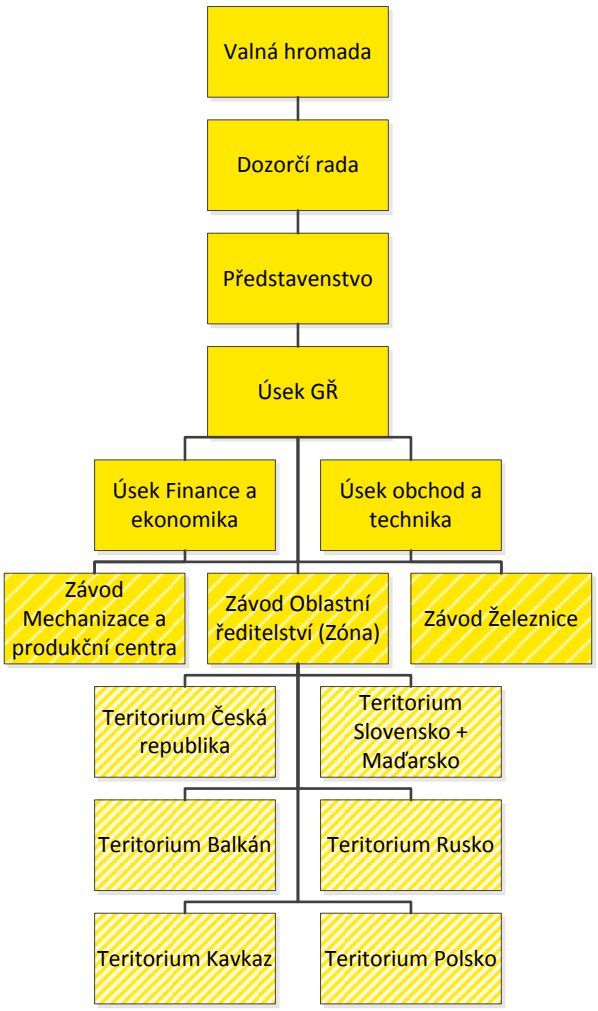


Obrázek 35 – Vizualizace vazeb v obchodním rejstříku
zdroj: 16

Společnost působí v následujících oborech:

- pozemní stavitelství,
- vodohospodářské stavby,

- podzemní stavitelství,
- silniční stavitelství,
- železniční stavitelství,
- inženýrské stavby a sanace,
- technologie a zařízení,
- mechanizace a doprava,
- distribuce a obchod s elektřinou.



Obrázek 36 – Organizační struktura společnosti
zdroj: 14, upraveno

Společnost OHL ŽS, a.s. získala své certifikáty od firem STAVCERT Praha, CERTICOM, EZÚ, CQS a IQNET Praha v těchto oblastech:

- ČSN EN ISO 9001 : 2009 – Systém managementu kvality,

- ČSN EN ISO 14 001: 2005 – Systém environmentálního managementu,
- ČSN OHSAS 18001: 2008 – Systém managementu bezpečnosti práce a ochrany zdraví při práci,
- Program EMAS III,
- Systém certifikovaných stavebních dodavatelů,
- Ethnic friendly zaměstnavatel,
- Program bezpečný podnik. (17)

Společnost OHL ŽS, a.s. je přímým nástupcem státního podniku Železniční stavitelství Brno, který vznikl v roce 1952. Jeho úkolem bylo zajišťovat stavební práce pro Československé státní dráhy, konkrétně výstavbu, rekonstrukce a opravy železničních tratí a budov. V roce 1971 byl podnik začleněn do výrobně-hospodářské jednotky „Železničné stavebníctvo“ se sídlem v Bratislavě.

V polovině roku 1991 byla tato jednotka zrušena a po devíti měsících samostatného fungování byl státní podnik Železniční stavitelství Brno 1. dubna 1992 přeměněn na akciovou společnost. Majoritním vlastníkem je španělská stavební skupina OHL, která vlastní 97,71 % akcií OHL ŽS, a.s., převážně prostřednictvím stavební společnosti ŽPSV a.s. (18)

4.2 Průběh výběrového řízení

Průběh výběrového řízení, stejně jako výběr konečného dodavatele, se řídí interními směrnicemi firmy. Zjednodušeně lze celý proces popsat následovně:

1. Po vyhrané zakázce jsou osloveni potenciální dodavatelé, jsou jim poslány technické specifikace zakázky a je od nich vyžádána technicko-ekonomická nabídka. Dle směrnic musí být osloveny minimálně tři firmy, běžně jich bývá osloveno alespoň pět.
2. Po obdržení technicko-ekonomických nabídek jsou jednotlivé nabídky vyhodnoceny. Jestliže jsou splněny technické specifikace, jsou nabídky vyhodnoceny dle ceny, záruční doby, referencí, termínu dodání, splatností a dalších kritérií.
3. Výstupem hodnocení je Protokol o výběru dodavatele[3], ve kterém jsou jednotlivé nabídky sumarizovány a výběrovou komisí je doporučena konkrétní

[3] viz Příloha A – Protokol o výběru dodavatele

firma k zadání zakázky a uzavření smlouvy. Cena je zde nejdůležitějším kritériem.
4. Protokol podepsaný výběrovou komisí podepisuje ředitel a dává pokyn k objednání.
5. Je vytvořena a uzavřena kupní smlouva s dodavatelem.

4.3 Řešená výběrová řízení

Hodnocení dodavatelů pomocí fuzzy logiky proběhne na třech již realizovaných výběrových řízeních, která se konala v roce 2011. Všechna tato výběrová řízení se týkají stejné akce – rekonstrukce Fakultní nemocnice Ostrava-Poruba, zadavatelem je stejný investor. Vždy se jedná o dodávku určitého typu zboží.

První výběrové řízení se týká dodávky náhradních zdrojů energie – dieselagregátů, druhé výběrové řízení rozvaděčů vysokého napětí a poslední výběrové řízení je o výběru dodavatele transformátorů.

4.3.1 Dodavatelé náhradních zdrojů elektrické energie

Předmětem výběrového řízení je výběr dodavatele náhradních zdrojů elektrické energie. Jsou požadovány dva kusy 220 kVA dieselagregátů, které budou umístěny ve strojovně energobloku 5 a dva kusy 550 kVA dieselagregátů umístěné ve strojovně energobloku 2. Plánované výpadky a provozní zkoušky zdroje budou řešeny bezvýpadkovým způsobem – dlouhodobou zpětnou synchronizací se sítí s možností vykrývání ¼ hodinového maxima.

Část specifikace

Technická data zařízení 500 kVA – 2 ks do EGB2

- Typ 500 kVA
- Provedení Eurosilent
- Řídící panel Paralelní chod ze sítí (fázování)
- Jistič alternátoru 800 A (3 Poles)
- Napětí 400-230 V @ 50 Hz (T51A2)
- Výkon Stand By [kVA/ kW] 500 / 400

- Výkon Prime Power [kVA / kW] 455 / 364
- Spotřeba paliva @ 100 % zatížení (L/h) 93,26
- Spotřeba paliva @ 75 % zatížení (L/h) 69,24
- Rozměry [mm] (d x š x v) 5030 x 1560 x 2440
- Hmotnost [kg] (čistá / vč. náplní) 4740 / 5280

Výběrového řízení na výběr dodavatele náhradních zdrojů elektrické energie se zúčastnilo sedm firem, ale specifikace i po druhém dodatku poptávky splnilo pouze pět z nich. Technicko-ekonomické nabídky firem, které splnily zadané specifikace, jsou pro stručnost a přehlednost shrnuty v tabulce 6, jména konkrétních firem jsou anonymizována.

Obrázek 37 – Ilustrační obrázek náhradního zdroje
zdroj: 19

Rozsah cen se pohybuje od přibližně 5 milionů Kč po 6,8 milionů Kč, splatnost faktury je nejčastěji 90 dnů, výjimečně 120 dnů. Maximální záruční lhůta je 63 měsíců od data dodání (60 měsíců od data uvedení do provozu) nebo standardních 24 měsíců. Vyšší záruční lhůta je v případě těchto dodavatelů podmíněna uzavřením servisní smlouvy.

Reference jsou kladné u čtyř dodavatelů, u posledního dodavatele nejsou reference známy nebo jsou negativní. Dodací lhůta se pohybuje od 9 do 21 týdnů, v závislosti na tom, zda je náhradní zdroj již vyroben a kde se nachází.

Tabulka 6 – Nabídky dodavatelů náhradních zdrojů

	Dod. 1	Dod. 2	Dod. 3	Dod. 4	Dod. 5
Cena [Kč bez DPH]	6 334 390	5 250 000	6 794 000	5 020 000	5 765 100
Splatnost faktury [den]	90	90	120	90	120
Záruční lhůta [měsíc]	24	63	63	24	63
Reference	ne	ano	ano	ano	ano
Dodací lhůta [týden]	12	16	21	9	10

4.3.2 Dodavatelé rozvaděčů vysokého napětí

Výběrové řízení se týká dodávky modulárních rozvaděčů (2 ks pole měření, 8 ks pole kabelového vývodu s vypínačem, 2 ks pole kabelového vývodu s vypínačem včetně MTN, 2 ks pole vývodu na transformátor, 2 ks pole kabelového vývodu s odpínačem) umístěné v energobloku 8 a dodávky kompaktních rozvaděčů (10 ks rozvaděč 3x pole kabelového vývodu s odpínačem, 6 ks dvě pole kabelového vývodu s odpínačem a jedno pole vývodu na transformátor, 4 ks dvě pole kabelového vývodu s odpínačem a dva vývody na transformátory) umístěných v energoblocích 1, 2, 5, 6 a 7.

Část specifikace

Modulární rozváděče umístěné v EGB8

Základní parametry modulárních rozváděčů:

- Jmenovité napětí 25 kV
- Jmen. proud kabelové odbočky 630 A
- Jmen. proud vývodu pro trafa 200 A
- Jmen. krátkodobý zkrat. proud 16 kA/1 sec
- Teplota okolí -25 až +40 °C
- Krátkodobé výdržné střídavé napětí 50 kV
- Výdržné napětí při atm. impulsu 125 kV

Výběrového řízení na výběr dodavatele náhradních zdrojů elektrické energie se zúčastnilo pět firem, ale specifikace byly schopny splnit pouze čtyři firmy. Nabídky jednotlivých dodavatelů rozvaděčů jsou z hlediska posuzovaných kritérií shrnuta v tabulce 7.

Obrázek 38 – Ilustrační obrázek VN rozvaděče
zdroj: 20

Cenové nabídky jednotlivých dodavatelů jsou velice variabilní, nejnižší nabídka je za 8,3 milionů Kč, nejvyšší za 14,5 milionů Kč. Splatnost faktur je u všech dodavatelů stejná, je v délce 90 dnů. Maximálně možná záruční lhůta je shodná (63 měsíců od dodání, 60 měsíců od uvedení do provozu), výjimku tvoří pouze jeden dodavatel

s 24 měsíci. Reference jsou kladné u všech dodavatelů, maximální dodací lhůta je v intervalu 9 až 14 týdnů.

Tabulka 7 – Nabídky dodavatelů rozvaděčů

	Dod. I	Dod. II	Dod. III	Dod. IV
Cena [Kč bez DPH]	8 390 000	14 513 600	8 338 000	9 800 000
Splatnost faktury [den]	90	90	90	90
Záruční lhůta [měsíc]	63	24	63	63
Reference	ano	ano	ano	ano
Dodací lhůta [týden]	10	14	9	10

4.3.3 Dodavatelé transformátorů

V poptávkové specifikaci jsou popsány parametry nízkoztrátových a nízkohlučných olejových hermetizovaných transformátorů 22/0,4 kV, kterých je požadováno 10 kusů pro energobloky 1, 2, 5 a 6 a parametry nízkoztrátového a nízkohlučného suchého transformátoru s epoxidovou izolací 22/0,4 kV, v blokovém provedení pro energoblok 7 a dále tlumiče vibrací EK290. Dodavatel (resp. transformátory) musí splňovat ČSN EN 60076 a související normy.

Část specifikace

Transformátor suchý 22/0,4 kV – 1 ks (EGB7)

Nízkoztrátový a nízkohlučný suchý transformátor s epoxidovou izolací, v blokovém provedení:

- Jmenovitý výkon 1000 kVA
- Jmenovitý převod 22000/400 V
- Jmenovitý kmitočet 50 Hz
- Spojení Dyn 1
- Napětí nakrátko 6%
- Ztráty naprázdno 900 W
- Ztráty nakrátko při 75°C 6400 W
- Akustický tlak Lp(A) 1m ≤ 50 dB

- Vinutí měď
- Krytí trafa ve skříni IP23
- Vývod NN/VN nahoře bokem v kratší části/ dole bokem v delší části

Výběrového řízení na výběr dodavatele transformátorů se zúčastnilo pět firem, ale specifikace splnily pouze čtyři firmy, jejich nabídky jsou uvedeny v tabulce 8.

Obrázek 39 – Ilustrační obrázek suchého transformátoru
zdroj: 21

Nabídkové ceny za transformátory jsou od 4,3 milionů Kč do přibližně 5 milionů Kč. Splatnost faktur je až na jednu výjimku (90 dnů) v délce 120 dnů, záruční lhůta je shodná u všech dodavatelů, a to v délce 63 měsíců od dodání nebo 60 měsíců od

uvedení transformátorů do provozu. Reference jsou negativní nebo neurčené pouze u jednoho dodavatele. Minimální dodací lhůta je 10 týdnů, nejčastější 12 týdnů a maximální 20 týdnů. Tento extrém je dán skutečností, že transformátory nebyly v lokálním skladu prodejce.

Tabulka 8 – Nabídky dodavatelů transformátorů

	Dod. A	**Dod. B**	**Dod. C**	**Dod. D**
Cena [Kč bez DPH]	4 309 500	4 433 000	4 947 852	4 915 000
Splatnost faktury [den]	120	120	90	120
Záruční lhůta [měsíc]	63	63	63	63
Reference	ano	ano	ano	ne
Dodací lhůta [týden]	20	12	12	10

5 Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení

Pro potřeby společnosti OHL ŽS, a.s. byl navrhnut fuzzy model pro hodnocení dodavatelů. Model je zpracován jak v programu Microsoft Excel, tak v programu MathWorks MATLAB ve Fuzzy Logic Toolboxu. Navrhnuté systémy jsou co nejvíce univerzální, lze je ihned aplikovat na výběrové řízení bez nutnosti upravovat různé parametry. Fuzzy modely jsou primárně navrhnuty pro hodnocení dodavatelů zboží, ale lze je aplikovat i na hodnocení dodavatelů služeb.

5.1 Vývoj modelů

Prvotní návrh kritérií, podle kterých se budou hodnotit dodavatelé, počítal s šestnácti kritérii. Konkrétně šlo o tato kritéria:

- cena, slevy, doprava v ceně, měna, smluvní pokuty, splatnost faktury;
- reference, kvalita, certifikáty (normy, BOZP, …), záruční lhůta, servisní podmínky, reklamace;
- dodací lhůta, délka realizace, způsob dopravy, doplňky.

Nebylo ještě zcela jasné, jakou váhu budou mít jednotlivá kritéria a jak budou rozděleny do tematických skupin. Výše uvedené rozdělení podle odrážek odpovídalo rozdělení na ekonomická kritéria, kvalitativní kritéria a technická kritéria, u kterých se zůstalo i v konečném návrhu.

Tabulka 9 – Prvotní návrh kritérií rozdělený do tří skupin včetně vah

	Ekonomická k.	Kvalitativní k.	Technická k.
Váha	80	10	10

Další možností bylo rozdělení na hlavní a pomocná kritéria. Do skupiny hlavních kritérií patřila cena, reference a dodací lhůta, zbytek byl sloučen ve skupině pomocných kritérií. Tato možnost se ukázala jako slepou cestou, protože po rozdělení 100 bodů na obě skupiny zbývalo pomocným kritériím 10 bodů, a přitom v této skupině bylo 13 kritérií.

Tabulka 10 – Prvotní návrh kritérií rozdělený do dvou skupin včetně vah

	Hlavní kritéria			Pomocná k.
	Cena	Reference	Dodací lhůta	
Váha	60	20	10	10

Ve druhém návrhu modelu byl snížen počet kritérií z původních šestnácti na jedenáct. Z ekonomických kritérií byly odebrány slevy, z kvalitativních kritérií kvalita a reklamace a z technických kritérií způsob dopravy a doplňky. Slevy lze agregovat do celkové ceny, kvalita splněna být musí, což bývá ošetřeno ve smlouvě a navíc lze toto kritérium začlenit do referencí. U reklamací je situace podobná, lze ji zahrnout částečně do referencí a částečně do záruční lhůty. Způsob dopravy není pro firmu podstatný údaj, proto byl vyřazen. Ani doplňky nejsou podstatné, protože požadovaný produkt je přesně specifikován v poptávce.

Tabulka 11 – Distribuce vah u druhého modelu

	Ekonomická kritéria					Kvalitativní kritéria				Technická kritéria	
	Cena	Doprava v ceně	Měna	Smluvní pokuty	Splatnost faktury	Záruční lhůta	Reference	Certifikáty	Servisní podmínky	Dodací lhůta	Délka realizace
Váha	65	1	2	4	4	5	5	3	5	5	1

Ve druhém modelu byly navrhnuty dva až tři stavy pro každé kritérium s výjimkou ceny, u kterého je pět možností z důvodu vysoké důležitosti kritéria. Průběh členských funkcí je ve všech případech lineární, maximum je ohodnoceno 100 % (první řádek v tabulce) a minimum 0 % (2., 3. nebo 5. řádek v závislosti na počtu možností u daného kritéria). V absolutním vyjádření je maximální hodnota daného kritéria uvedena výše v tabulce.

Tabulka 12 – Základní stavová matice druhého modelu

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.
	Ekonomická kritéria					Kvalitativní kritéria				Technická kritéria	
	Cena	Doprava v ceně	Měna	Smluvní pokuty	Splatnost faktury	Záruční lhůta	Reference	Certifikáty	Servisní podmínky	Dodací lhůta	Délka realizace
1.	velmi nízká	Ano	CZK	vysoké	dlouhá	dlouhá	ano	ano	dobré	krátká	krátká
2.	nízká	Ne	EUR	středně vys.	středně dl.	středně dl.	ne	ne	standardní	středně dl.	středně dl.
3.	středně vys.			nízké	krátká	krátká			špatné	dlouhá	dlouhá
4.	vysoká										
5.	velmi vys.										

V předfinálním modelu byl počet kritérií redukován na pět nejdůležitějších, univerzálních, rozdělených do tří skupin:

- *ekonomická kritéria*: cena, splatnost faktury;
- *kvalitativní kritéria*: záruční lhůta, reference;
- *technická kritéria*: dodací lhůta.

Počet stavů (možností) se změnil pouze u kritéria cena, možnosti zde byly sníženy na tři. Důvodem pro snížení byly hlavně studie uvedené v kapitole 3.1.5., zejména studie *The Magical Number Three, Plus or Minus Zero*.

Tabulka 13 – Distribuce vah v předfinálním modelu

	Ekonomická k.		**Kvalitativní k.**		**Technická k.**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
Váha	68	8	13	5	6

Kritérium doprava v ceně bylo zahrnuto do kritéria cena, protože doprava bývá obvykle zahrnuta v ceně. Pokud zahrnuta není, není problém cenu přepočítat. Měna je na tom podobně, lze ji též sloučit do jednoho kritéria. Původně byla měna samostatná, protože firma OHL ŽS, a.s. je velkou mezinárodní společností, která řadu zakázek realizuje v měně jiné, než jsou Koruny české, proto kurzovní rozdíly mohou ovlivnit výslednou cenu. Ve smlouvách, kde je platba prostřednictvím cizí měny, ale bývá položka, že při určité výši změny kurzu měn může jedna ze stran odstoupit od smlouvy. Proto je toto kritérium nadbytečné.

Smluvní pokuty také nejsou příliš důležitým kritériem, jejich výše bývá u jednotlivých nabídek shodná. Nutnost vlastnit určitý certifikát je specifikována již v poptávce, proto není nutné samostatné kritérium. Kritérium servisní podmínky je vhodné pouze pro některé typy dodávek, není univerzální, a proto bylo vyřazeno. Délka realizace může být do určité míry (resp. u různých typů dodávek, zejména zboží vs. služba) zaměňována s dodací lhůtou a zároveň bývá délka realizace mnohem kratší než dodací lhůta, stává se proto toto kritérium nepodstatným.

Ve finálním modelu došlo pouze k jedné změně oproti předchozímu návrhu – u kritéria cena došlo k navýšení počtu možností ze tří na pět. V praxi se ukázalo, že tři možnosti u ceny, která má nejvyšší váhu (68 %), jsou nedostatečné. Podrobnější informace o kritériích a zejména jejich váhách jsou uvedeny v další subkapitole.

5.2 Excel

Vyhodnocení jednotlivých nabídek v programu Microsoft Excel proběhlo v několika postupných krocích. Jako první se sestavila základní stavová matice, která představuje možnosti, kterých může dané kritérium nabývat. Tyto stavy jsou zde slovně vyjádřeny. Cena má těchto možností pět, protože je nejdůležitější, ostatní kritéria až na reference mají tři stavy.

Tabulka 14 – Základní stavová matice

	I.	II.	III.	IV.	V.
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	velmi nízká	dlouhá	dlouhá	kladné	krátká
2	nízká	středně dl.	středně dl.	záporné	středně dl.
3	středně vys.	krátká	krátká		dlouhá
4	vysoká				
5	velmi vys.				

Dalším krokem bylo sestavení transformační matice, která přiřazuje slovním možnostem číselné hodnoty. Pro jednoduchost byl jako maximální počet možných bodů zvolen sto, číselné hodnocení tak zároveň představuje procentní hodnocení. Minimální možný počet bodů je nula, není proto nutné při výpočtu provádět normování. Všechny možnosti u kritérií mají lineární průběh, minimum je vždy nula bodů a maximum se odvíjí od váhy daného kritéria.

Tabulka 15 – Transformační matice

	I.	II.	III.	IV.	V.	
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**	
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**	
1	68	8	13	5	6	
2	51	4	6,5	0	3	
3	34	0	0		0	
4	17					
5	0					**Suma**
Max	**68**	**8**	**13**	**5**	**6**	**100**

V následujícím kroku se musely nabídky jednotlivých dodavatelů převést do podoby vstupní stavové matice, aby mohlo dojít k matematickému vyhodnocení. Vstupní stavová matice je logická matice, kde se přiřadí „ano“, resp. 1, takové možnosti, která odpovídá základní stavové matici. V opačném případě je přiřazeno „ne“, resp. 0. Vstupní stavové matice jednotlivých dodavatelů jsou uvedeny v následujících podkapitolách. Transformace reálných nabídek do jednotlivých možností podle základní stavové matice byla provedena podle tabulky 16.

Tabulka 16 – Transformace nabídek

Pořadí	**1**	**2**	**3**
Splatnost faktury	dlouhá	středně dlouhá	krátká
	101 a víc	61 až 100	60 a méně
Záruční lhůta	dlouhá	středně dlouhá	krátká
	73 a víc	37 až 72	36 a méně
Dodací lhůta	krátká	středně dlouhá	dlouhá
	6 a méně	7 až 12	13 a více

Ceny byly převedeny podle tabulky 17, jednotlivé intervaly jsou odstupňovány přibližně po 5 % z nejnižší cenové nabídky u daného výběrového řízení.

Tabulka 17 – Transformace cen

	Náhradní zdroje	
1	velmi nízká	5 100 000 a méně
2	nízká	5 100 001 až 5 350 000
3	středně vysoká	5 350 001 až 5 600 000
4	vysoká	5 600 001 až 5 850 000
5	velmi vysoká	5 850 001 a více
	Rozvaděče vysokého napětí	
1	velmi nízká	8 500 000 a méně
2	nízká	8 500 001 až 8 950 000
3	středně vysoká	8 950 001 až 9 400 000
4	vysoká	9 400 001 až 9 850 000
5	velmi vysoká	9 850 001 a více
	Transformátory	
1	velmi nízká	4 400 000 a méně
2	nízká	4 400 001 až 4 600 000
3	středně vysoká	4 600 001 až 4 800 000
4	vysoká	4 800 001 až 5 000 000
5	velmi vysoká	5 000 001 a více

Výpočet probíhá skalárním součinem vstupní stavové matice a transformační matice, výstup není potřeba normovat, protože vychází rovnou v procentech. Slovní komentář k číselnému vyhodnocení je uveden v retransformační matici. Je zde pět možností odstupňovaných po dvaceti procentech, nejhorší je vyhodnocení „velmi špatná nabídka“, která je do dvaceti procent a nejlepší možnost je „výborná nabídka“, která začíná na osmdesáti procentech.

Tabulka 18 – Retransformační matice

	Slovní vyhodnocení	Interval [%]	
		od	do
1	velmi špatná nabídka	0	20
2	špatná nabídka	20	40
3	středně dobrá nabídka	40	60
4	dobrá nabídka	60	80
5	výborná nabídka	80	100

Pro zjednodušení celého procesu zadávání a vyhodnocení byla v Excelu navrhnuta šablona pro hodnocení dodavatelů (přiložený soubor `Šablona pro hodnocení dodavatelů.xlsx`), ve které se pouze vyplní kritéria celým číslem z rozsahu 1 až 5 (v závislosti na počtu stavů, maximum tedy může být i 3 nebo 2), které reprezentuje slovní hodnocení daného kritéria, a dojde k automatickému číselnému i slovnímu vyhodnocení.

5.2.1 Dodavatelé náhradních zdrojů elektrické energie

Dodavatel 1

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 6 334 390 Kč velmi vysoká
- *Splatnost faktury:* 90 dnů středně dlouhá
- *Záruční lhůta:* 24 měsíců krátká
- *Reference:* záporné záporné
- *Dodací lhůta:* 12 týdnů středně dlouhá

Tabulka 19 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele 1

	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ne	ne	ne	ne	ne
2	ne	ano	ne	ano	ano
3	ne	ne	ano		ne
4	ne				
5	ano				

Dodavatel 2

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 5 250 000 Kč nízká
- *Splatnost faktury:* 90 dnů středně dlouhá
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců středně dlouhá
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 16 týdnů dlouhá

Tabulka 20 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele 2

	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ne	ne	ne	ano	ne
2	ano	ano	ano	ne	ne
3	ne	ne	ne		ano
4	ne				
5	ne				

Dodavatel 3

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 6 794 000 Kč velmi vysoká
- *Splatnost faktury:* 120 dnů dlouhá
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců středně dlouhá
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 21 týdnů dlouhá

Tabulka 21 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele 3

	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ne	ano	ne	ano	ne
2	ne	ne	ano	ne	ne
3	ne	ne	ne		ano
4	ne				
5	ano				

Dodavatel 4

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 5 020 000 Kč velmi nízká
- *Splatnost faktury:* 90 dnů středně dlouhá
- *Záruční lhůta:* 24 měsíců krátká
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 9 týdnů středně dlouhá

Tabulka 22 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele 4

	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ano	ne	ne	ano	ne
2	ne	ano	ne	ne	ano
3	ne	ne	ano		ne
4	ne				
5	ne				

Dodavatel 5

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 5 765 100 Kč vysoká
- *Splatnost faktury:* 120 dnů dlouhá
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců středně dlouhá
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 10 týdnů středně dlouhá

Tabulka 23 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele 5

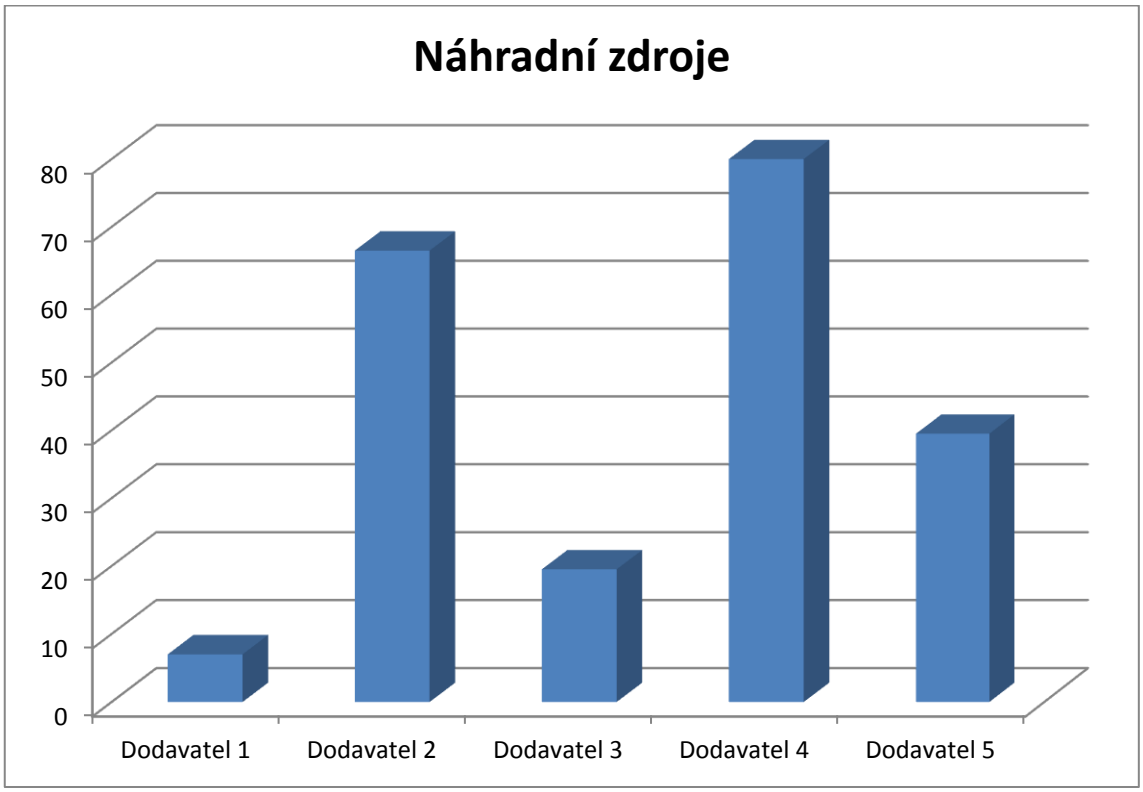
	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ne	ano	ne	ano	ne
2	ne	ne	ano	ne	ano
3	ne	ne	ne		ne
4	ano				
5	ne				

Jako nejlepší byl vyhodnocen Dodavatel 4, který získal 80 bodů a slovní hodnocení „výborná nabídka“. Žádný jiný dodavatel nedosáhl této úrovně. Ve skutečnosti byl i tento dodavatel vybrán firmou jako dodavatel náhradních zdrojů elektrické energie.

Tabulka 24 – Vyhodnocení dodavatelů náhradních zdrojů v Excelu

Dodavatel	Číselné hodnocení	Slovní hodnocení	Pořadí
Dodavatel 1	7	velmi špatná nabídka	5.
Dodavatel 2	66,5	dobrá nabídka	2.
Dodavatel 3	19,5	velmi špatná nabídka	4.
Dodavatel 4	80	výborná nabídka	1.
Dodavatel 5	39,5	špatná nabídka	3.

Dodavatel 4 představil technicko-ekonomickou nabídku s jednoznačně nejnižší cenou, konkrétně 5 020 000 Kč. Splatnost faktur je v tomto případě 90 dnů, záruční lhůta 24 měsíců, kterou lze prodloužit při uzavření servisní smlouvy, dodací lhůta je nejkratší, je maximálně do 9 týdnů. Reference jsou u tohoto dodavatele kladné.



Obrázek 40 – Vyhodnocení dodavatelů náhradních zdrojů v Excelu

5.2.2 Dodavatelé rozvaděčů vysokého napětí

Dodavatel I

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 8 390 000 Kč velmi nízká
- *Splatnost faktury:* 90 dnů středně dlouhá
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců středně dlouhá
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 10 týdnů středně dlouhá

Tabulka 25 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele I

	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ano	ne	ne	ano	ne
2	ne	ano	ano	ne	ano
3	ne	ne	ne		ne
4	ne				
5	ne				

Dodavatel II

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 14 513 600 Kč velmi vysoká
- *Splatnost faktury:* 90 dnů středně dlouhá
- *Záruční lhůta:* 24 měsíců krátká
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 14 týdnů dlouhá

Tabulka 26 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele II

	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ne	ne	ne	ano	ne
2	ne	ano	ne	ne	ne
3	ne	ne	ano		ano
4	ne				
5	ano				

Dodavatel III

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 8 338 000 Kč velmi nízká
- *Splatnost faktury:* 90 dnů středně dlouhá
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců středně dlouhá
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 9 týdnů středně dlouhá

Tabulka 27 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele III

	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ano	ne	ne	ano	ne
2	ne	ano	ano	ne	ano
3	ne	ne	ne		ne
4	ne				
5	ne				

Dodavatel IV

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 9 800 000 Kč vysoká
- *Splatnost faktury:* 90 dnů středně dlouhá
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců středně dlouhá
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 10 týdnů středně dlouhá

Tabulka 28 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele IV

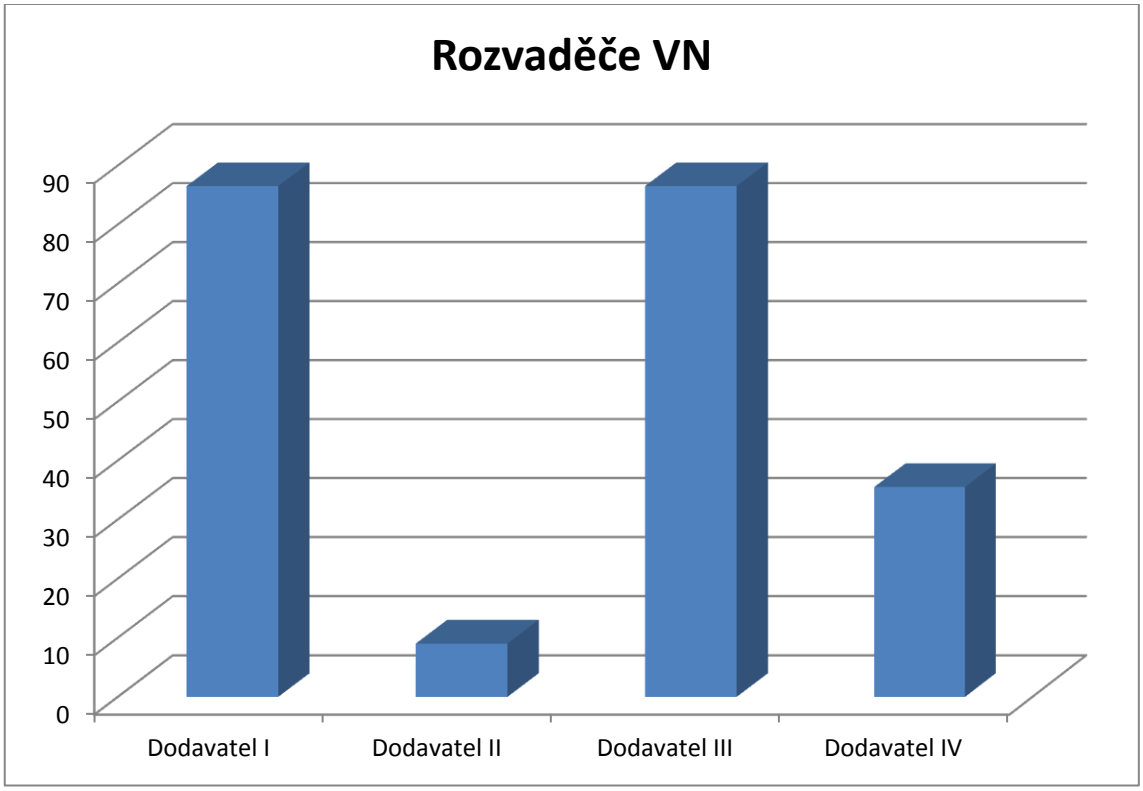
	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ne	ne	ne	ano	ne
2	ne	ano	ano	ne	ano
3	ne	ne	ne		ne
4	ano				
5	ne				

Úrovně „výborná nabídka“ dosáhli hned dva dodavatelé – Dodavatel I a Dodavatel III. Oba dosáhli shodného počtů bodů (86,5), protože představili téměř shodné technicko-ekonomické nabídky. Ve skutečnosti byl zvolen dodavatel III, který nabídl o týden kratší dodací lhůtu a cenu o 52 000 Kč nižší.

Tabulka 29 – Vyhodnocení dodavatelů VN rozvaděčů v Excelu

Dodavatel	Číselné hodnocení	Slovní hodnocení	Pořadí
Dodavatel I	86,5	výborná nabídka	1.
Dodavatel II	9	velmi špatná nabídka	4.
Dodavatel III	86,5	výborná nabídka	1.
Dodavatel IV	35,5	špatná nabídka	3.

Dodavatel III nabídl cenu za rozvaděče 8 338 000 Kč, splatnost faktur do 90 dnů, záruční lhůtu 63 měsíců od data dodání a dodací lhůtu maximálně 9 týdnů. Reference má tento dodavatel kladné.



Obrázek 41 – Vyhodnocení dodavatelů VN rozvaděčů v Excelu

5.2.3 Dodavatelé transformátorů

Dodavatel A

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 4 309 500 Kč velmi nízká
- *Splatnost faktury:* 120 dnů dlouhá
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců středně dlouhá
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 20 týdnů dlouhá

Tabulka 30 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele A

	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ano	ano	ne	ano	ne
2	ne	ne	ano	ne	ne
3	ne	ne	ne		ano
4	ne				
5	ne				

Dodavatel B

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 4 433 000 Kč nízká
- *Splatnost faktury:* 120 dnů dlouhá
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců středně dlouhá
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 12 týdnů středně dlouhá

Tabulka 31 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele B

	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ne	ano	ne	ano	ne
2	ano	ne	ano	ne	ano
3	ne	ne	ne		ne
4	ne				
5	ne				

Dodavatel C

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 4 947 852 Kč vysoká
- *Splatnost faktury:* 90 dnů středně dlouhá
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců středně dlouhá
- *Reference:* kladné kladné
- *Dodací lhůta:* 12 týdnů středně dlouhá

Tabulka 32 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele C

	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ne	ne	ne	ano	ne
2	ne	ano	ano	ne	ano
3	ne	ne	ne		ne
4	ano				
5	ne				

Dodavatel D

Nabídka a její slovní vyjádření:

- *Cena:* 4 915 000 Kč vysoká
- *Splatnost faktury:* 120 dnů dlouhá
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců středně dlouhá
- *Reference:* záporné záporné
- *Dodací lhůta:* 10 týdnů středně dlouhá

Tabulka 33 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele D

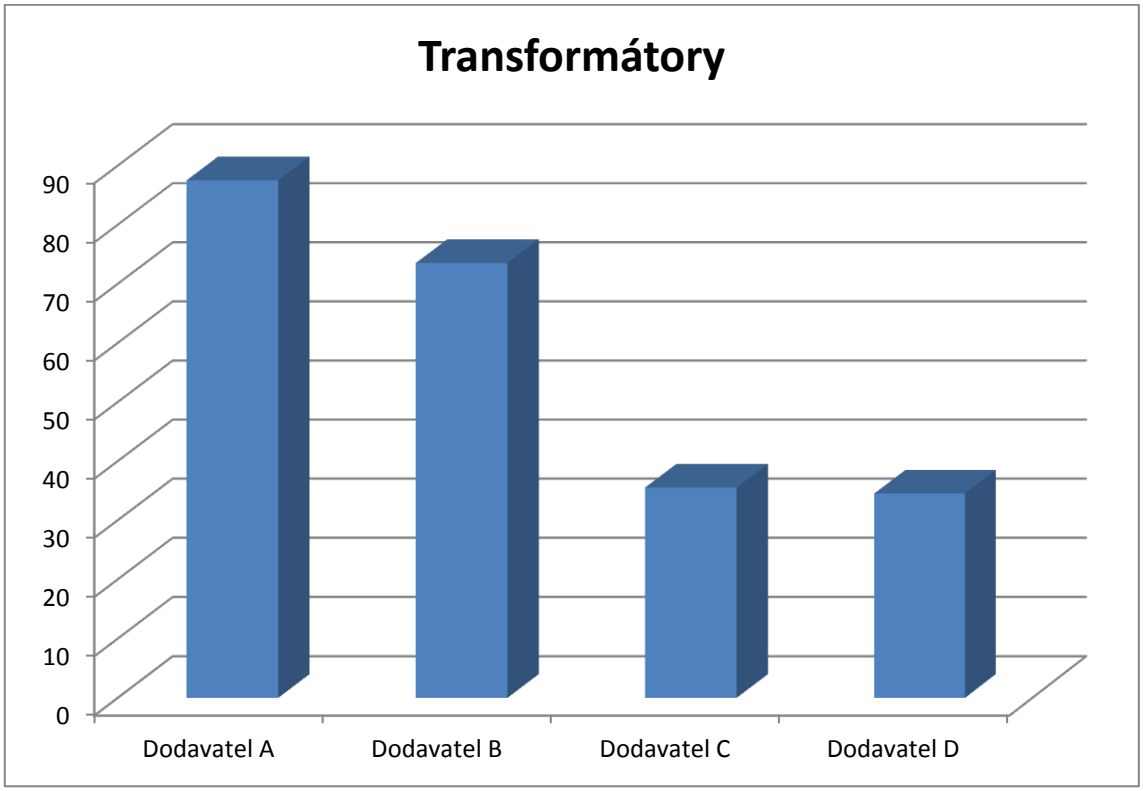
	I	II	III	IV	V
	Ekonomická kritéria		**Kvalitativní kritéria**		**Technická kritéria**
	Cena	**Splatnost faktury**	**Záruční lhůta**	**Reference**	**Dodací lhůta**
1	ne	ano	ne	ne	ne
2	ne	ne	ano	ano	ano
3	ne	ne	ne		ne
4	ano				
5	ne				

Nejvyššího počtu bodů dosáhl Dodavatel A, konkrétně získal 87,5 bodů. Jako jediný získal slovní hodnocení „výborná nabídka“. Druhý v pořadí – Dodavatel B – také nedopadl špatně, dosáhl 73,5 bodů a hodnocení „dobrá nabídka“, body ztratil hlavně kvůli vyšší cenové nabídce. Ve skutečnosti byl firmou jako dodavatel transformátorů zvolen dodavatel 1. v pořadí, tedy Dodavatel A.

Tabulka 34 – Vyhodnocení dodavatelů transformátorů v Excelu

Dodavatel	**Číselné hodnocení**	**Slovní hodnocení**	**Pořadí**
Dodavatel A	87,5	výborná nabídka	1.
Dodavatel B	73,5	dobrá nabídka	2.
Dodavatel C	35,5	špatná nabídka	3.
Dodavatel D	34,5	špatná nabídka	4.

Dodavatel A nabídl cenu 4 309 500 Kč se splatností 120 dnů, záruční dobou 63 měsíců a dodací lhůtou do 20 týdnů. I u tohoto dodavatele jsou evidovány kladné reference.



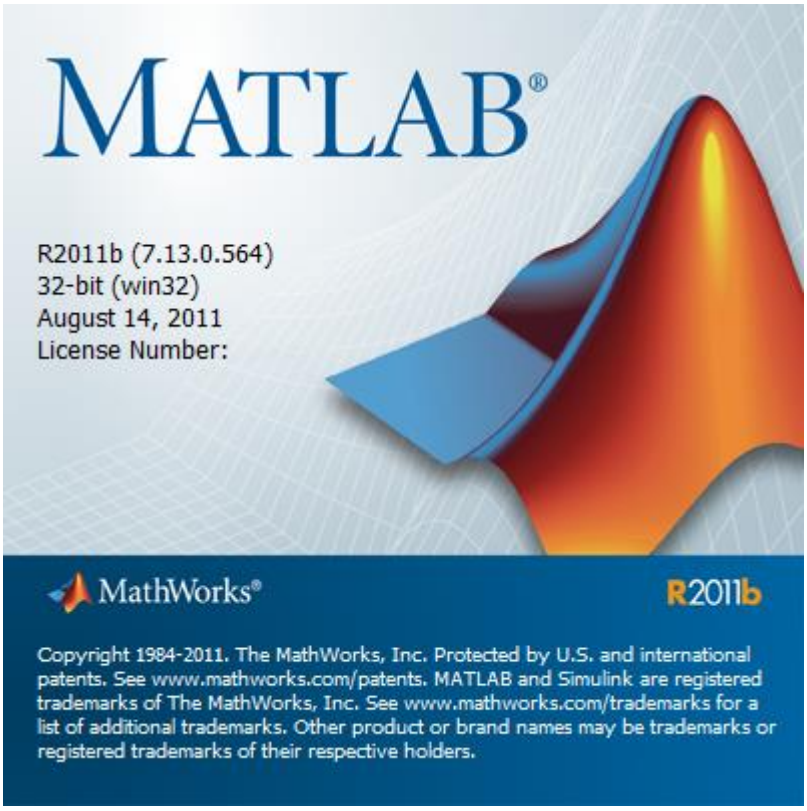
Obrázek 42 – Vyhodnocení dodavatelů transformátorů v Excelu

5.3 MATLAB

Jak již bylo uvedeno, zpracování v programu MathWorks MATLAB proběhlo pomocí Fuzzy Logic Toolboxu. MATLAB je komplexní software pro vědeckotechnické výpočty, které lze rozšířit o další funkce pomocí tzv. toolboxů. Jedním z nich je právě Fuzzy Logic Toolbox, který přidává do MATLABu podporu fuzzy logiky. Nejzajímavější část tohoto toolboxu je grafický návrh fuzzy systémů, který představím dále v textu.

Vstupní proměnné jsou v tomto systému stejné jako kritéria v Excelu, jde tedy o *cenu*, *splatnost faktury*, *záruční lhůtu*, *reference* a *dodací lhůtu*. Počet členských funkcí je u každé proměnné stejný, jako je počet stavů v modelu v Excelu. Jako tvar byly zvoleny trojúhelníkové funkce. Výstupní proměnná je jedna, má pět členských funkcí, konkrétně

byly zvoleny L-funkce, Λ-funkce a Γ-funkce. Λ-funkce a Γ-funkce jsou na krajích intervalů.



Obrázek 43 – MATLAB

Pro spuštění hodnocení dodavatelů jsou potřeba dva přiložené soubory, které jsou shodné pro všechna tři výběrová řízení:

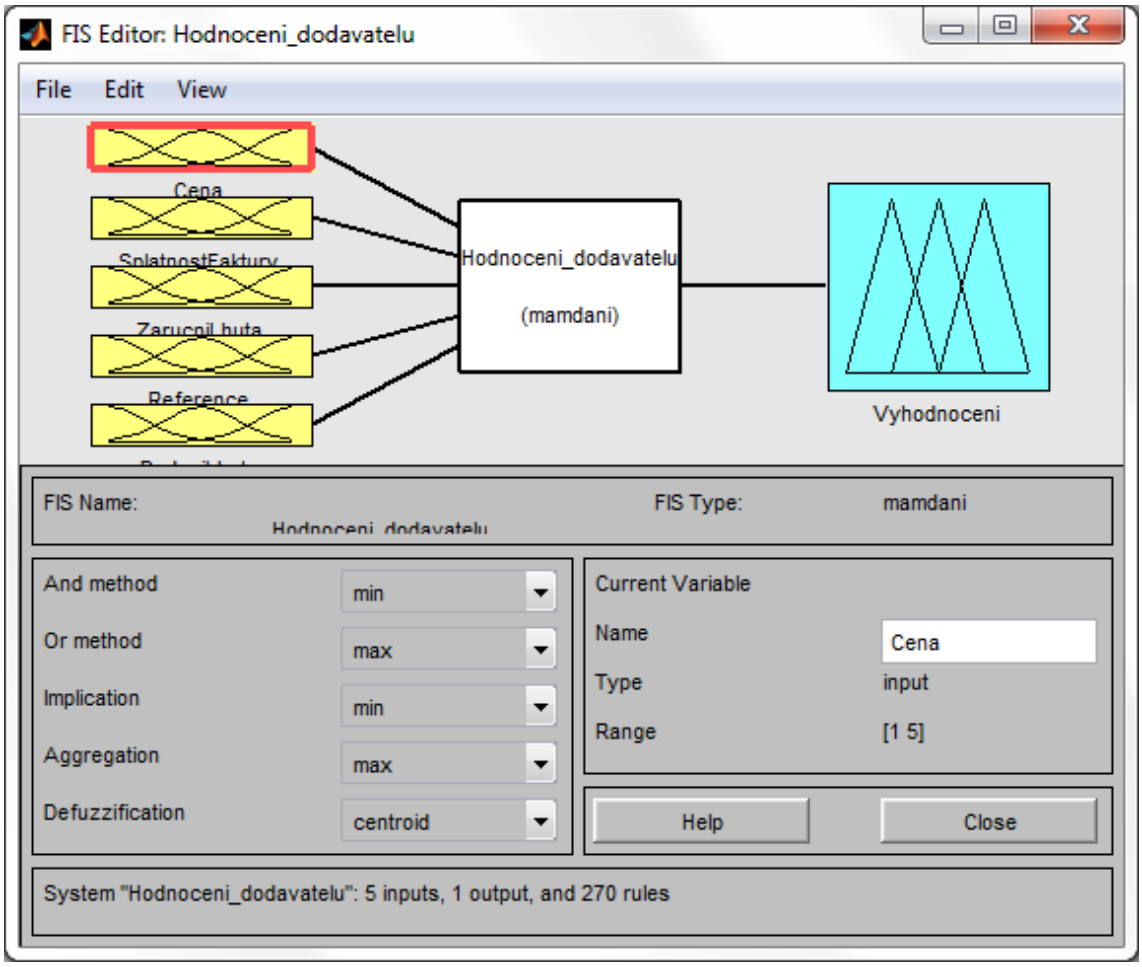
- `Hodnoceni_dodavatelu.m`
- `Hodnoceni_dodavatelu.fis`

M soubor je v MATLABu spustitelný soubor, který uživatele provede hodnocením dodavatelů a FIS soubor obsahuje nastavení a chování fuzzy modelu.

FIS Editor

FIS Editor se objeví hned po spuštění Fuzzy Logic Toolboxu příkazem `fuzzy`. V tomto oknu lze přidávat vstupní proměnné, určovat jejich názvy a měnit globální nastavení celého systému, např. typ fuzzy systému, metodu defuzzifikace, implikace apod.

Navrhnutý fuzzy systém je typu Mamdani, má pět vstupních proměnných a jednu výstupní – *Vyhodnoceni*. Implikace byla zvolena Mamdaniho, defuzzifikace metodou COA.

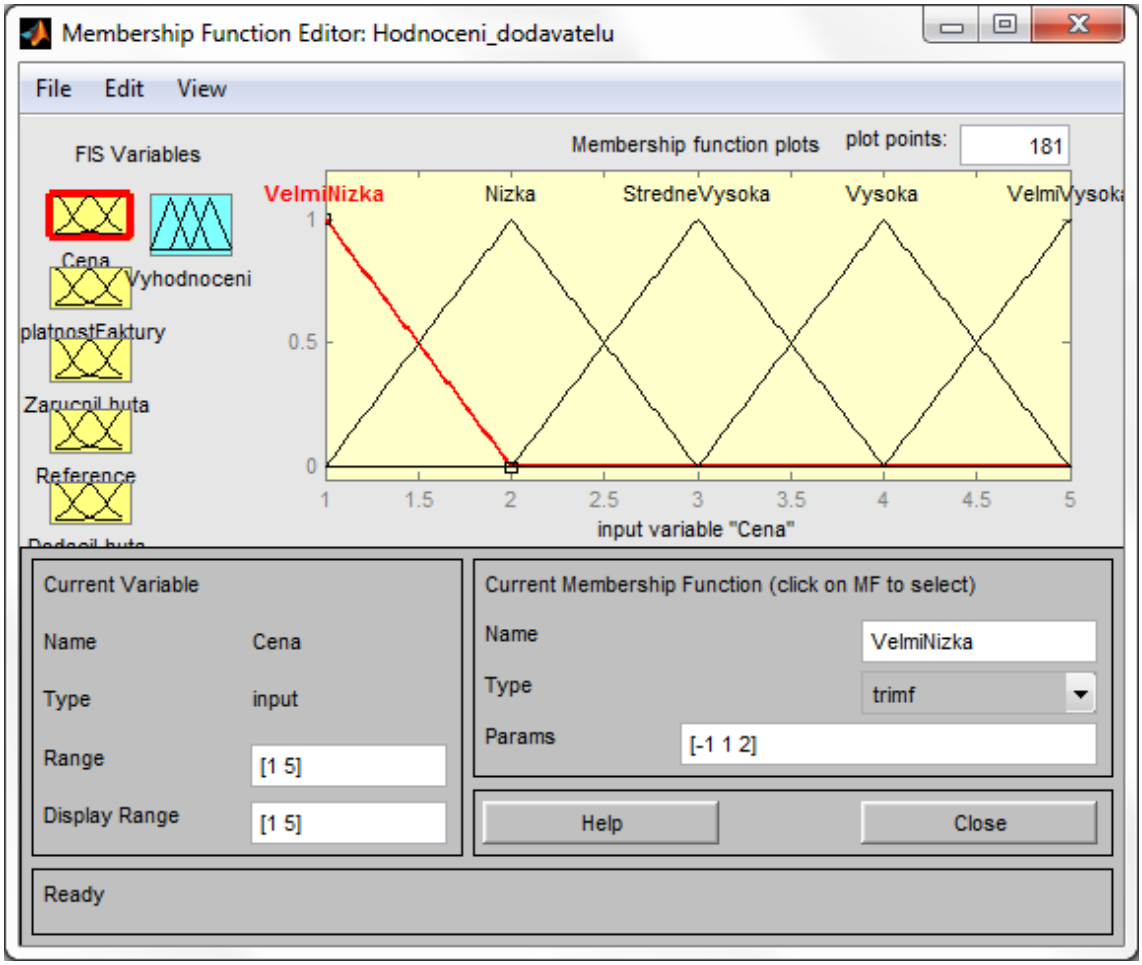


Obrázek 44 – FIS Editor

Membership Function Editor

V Membership Function Editoru lze podrobně nastavovat proměnné a členské funkce. Lze volit rozsah proměnných, dále počet, typ a průběh členských funkcí. Membership Function Editor se spouští z okna FIS Editoru buď dvojklikem na libovolnou proměnnou nebo z nabídky *Edit → Membership Functions*.

Jak je na obrázku 45 vidět, proměnná *cena* má pět trojúhelníkových členských funkcí, které jsou pojmenovány stejně jako v základní stavové matici. Rozsah je volen v intervalu 1 až 5, což odpovídá počtu možností v základní stavové matici a lze tedy zadávat stejné hodnoty jako v modelu vytvořeném v Excelu. Ostatní vstupní hodnoty jsou vytvořeny obdobně, rozdíl je pouze u výstupní proměnné *Vyhodnoceni*, která má na krajích L-funkci resp. Γ-funkci.

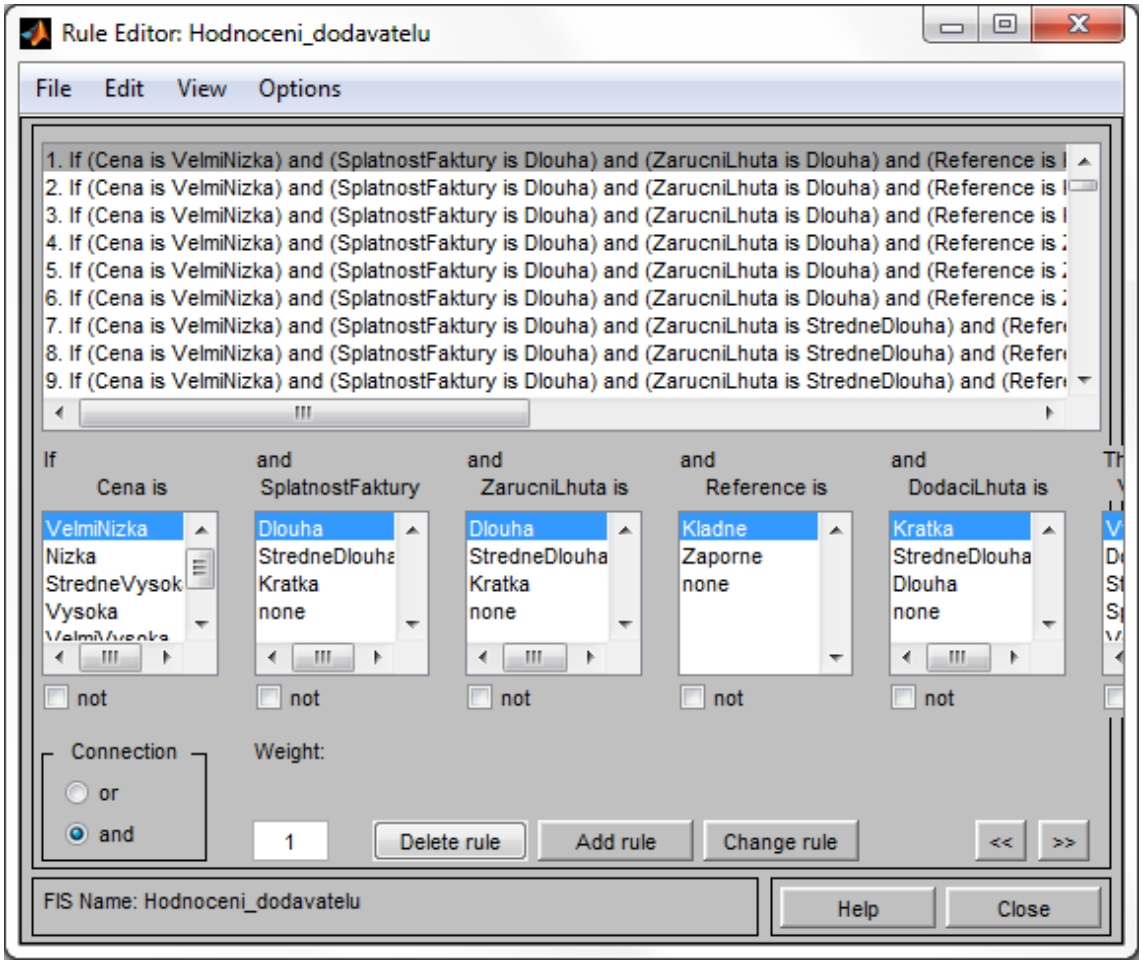


Obrázek 45 – Membership Function Editor

Rule Editor

Rule Editor umožňuje v grafickém režimu vytvářet, měnit a mazat inferenční pravidla. Tento editor se spouští z okna FIS Editoru buď dvojklikem na bílý čtverec se jménem a typem systému uprostřed, nebo z nabídky *Edit → Rules*.

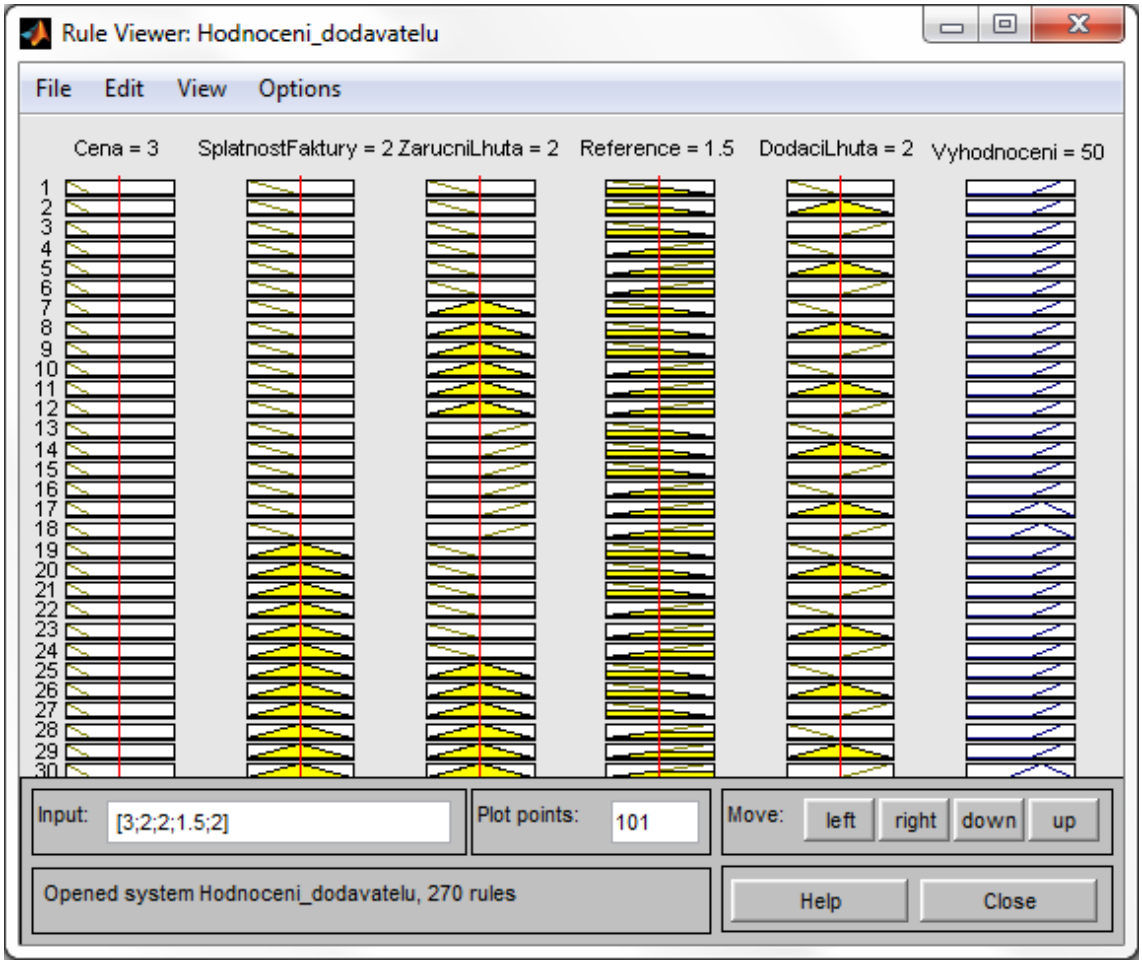
Model hodnocení dodavatelů obsahuje 270 pravidel. Tato pravidla nebyla přidána ručně přes Rule Editor, ale byla vytvořena s pomocí vah v Excelovém modelu. Pravidla tedy představují všechny kombinace možností.



Obrázek 46 – Rule Editor

Rule Viewer

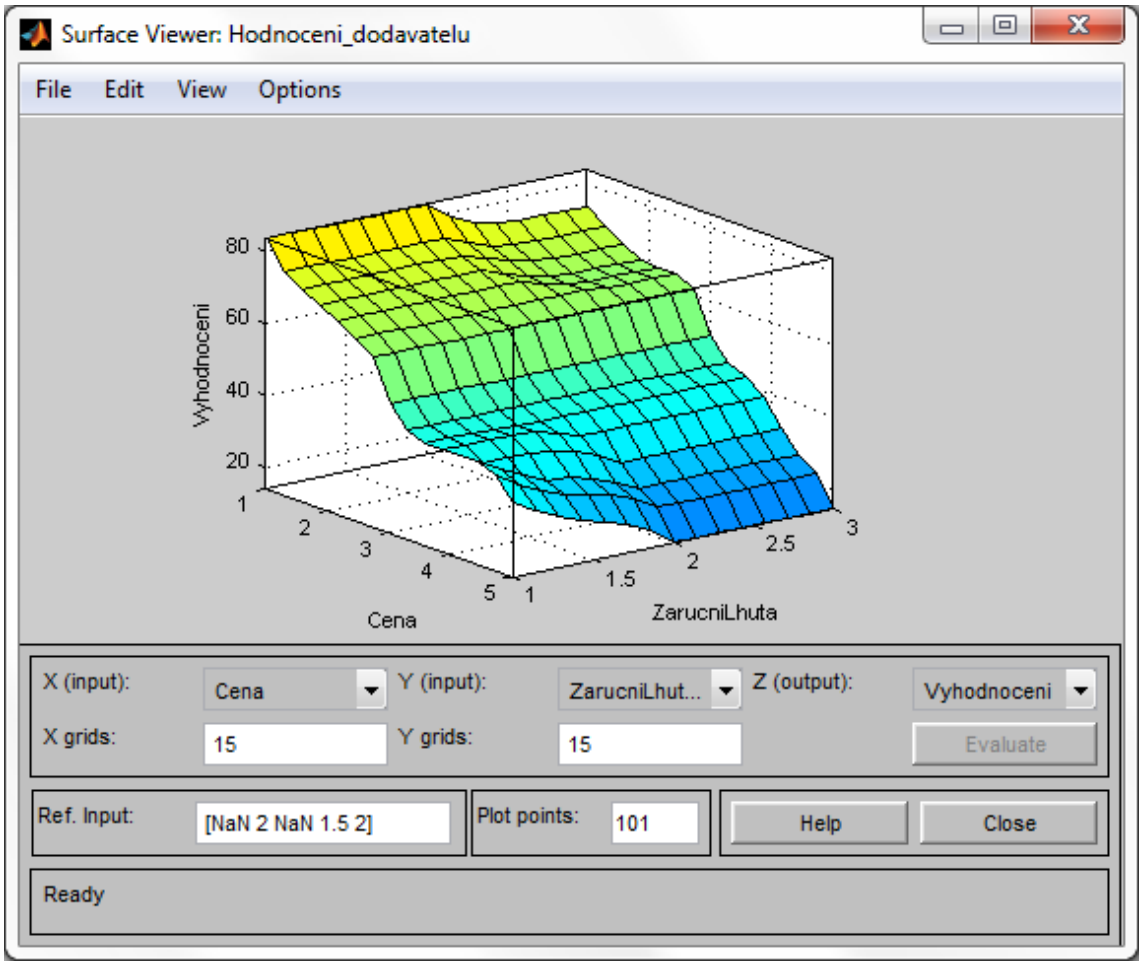
Rule Viewer je jeden z kontrolních nástrojů ve Fuzzy Logic Toolboxu. Jsou zde graficky zobrazena všechna inferenční pravidla v modelu. Hodnoty jednotlivých proměnných lze měnit v řádku *Input* nebo přímo posunutím červených čar u každého kritéria, výsledek se číselně zobrazí u výstupní proměnné. Výhodou je, že lze grafickou cestou vidět, která pravidla jsou použita pro vyhodnocení. Rule Viewer se spouští z okna FIS Editoru, v nabídce je třeba zvolit *View* → *Rules*.



Obrázek 47 – Rule Viewer

Surface Viewer

Surface Viewer je druhým kontrolním nástrojem obsaženým ve Fuzzy Logic Toolboxu. Zobrazený povrch ukazuje průběh dvou vybraných vstupních proměnných (osy X a Y) na jedné výstupní proměnné (osa Z), tj. výsledku. V poli *Ref. Input* lze volit různé řezy pomocí změn hodnot právě nezobrazených proměnných. Spouštění je také z nabídky *View* → *Surface* v okně FIS Editoru.



Obrázek 48 – Surface Viewer

Po spuštění programu Hodnoceni_dodavatelu.m jsou od uživatele postupně vyžádány všechny potřebné informace k ohodnocení dodavatele. Po zadání argumentů je vypsáno číselné a slovní hodnocení. Program je ošetřen vůči numerickým chybám.[4]

[4] Viz Příloha B – Hodnoceni_dodavatelu.m

5.3.1 Dodavatelé náhradních zdrojů elektrické energie

Dodavatel 1

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

- *Cena:* 6 334 390 Kč 5
- *Splatnost faktury:* 90 dnů 2
- *Záruční lhůta:* 24 měsíců 3
- *Reference:* záporné 2
- *Dodací lhůta:* 12 týdnů 2

Dodavatel 2

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

- *Cena:* 5 250 000 Kč 2
- *Splatnost faktury:* 90 dnů 2
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců 2
- *Reference:* kladné 1
- *Dodací lhůta:* 16 týdnů 3

Dodavatel 3

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

- *Cena:* 6 794 000 Kč 5
- *Splatnost faktury:* 120 dnů 1
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců 2
- *Reference:* kladné 1
- *Dodací lhůta:* 21 týdnů 3

Dodavatel 4

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

- *Cena:* 5 020 000 Kč 1
- *Splatnost faktury:* 90 dnů 2
- *Záruční lhůta:* 24 měsíců 3
- *Reference:* kladné 1

- *Dodací lhůta:* 9 týdnů 2

Dodavatel 5

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

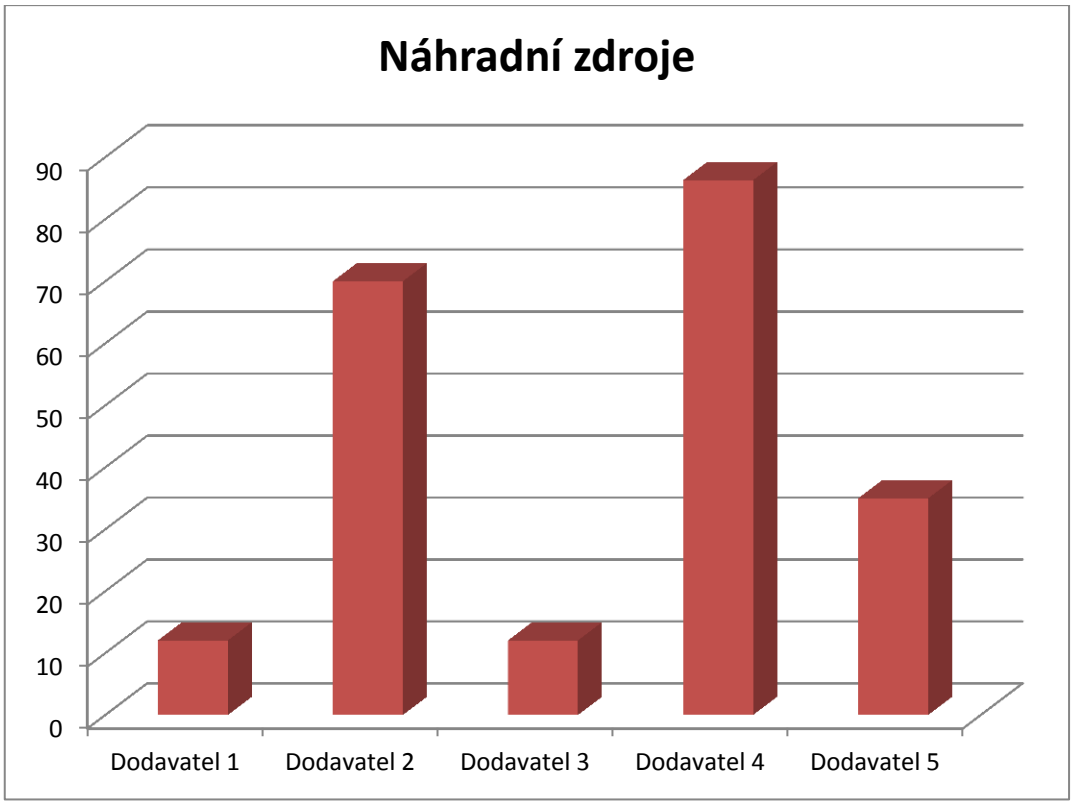
- *Cena:* 5 765 100 Kč 4
- *Splatnost faktury:* 120 dnů 1
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců 2
- *Reference:* kladné 1
- *Dodací lhůta:* 10 týdnů 2

Jako nejlepší byl vyhodnocen Dodavatel 4, který získal 86,3 bodů. Jako jediný získal slovní hodnocení „výborná nabídka“. Jedna nabídka (od Dodavatele 2) byla „dobrá“, ostatní „špatné“ nebo „velmi špatné“.

Tabulka 35 – Vyhodnocení dodavatelů náhradních zdrojů v MATLABUu

Dodavatel	Číselné hodnocení	Slovní hodnocení	Pořadí
Dodavatel 1	12	velmi špatná nabídka	4.
Dodavatel 2	70	dobrá nabídka	2.
Dodavatel 3	12	velmi špatná nabídka	4.
Dodavatel 4	86,3	výborná nabídka	1.
Dodavatel 5	35	špatná nabídka	3.

Dodavatel 4 byl i ve skutečnosti vybrán jako dodavatel náhradních zdrojů elektrické energie – dieselagregátů.



Obrázek 49 – Vyhodnocení dodavatelů náhradních zdrojů v MATLABu

5.3.2 Dodavatelé rozvaděčů vysokého napětí

Dodavatel I

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

- *Cena:* 8 390 000 Kč 1
- *Splatnost faktury:* 90 dnů 2
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců 2
- *Reference:* kladné 1
- *Dodací lhůta:* 10 týdnů 2

Dodavatel II

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

- *Cena:* 14 513 600 Kč 5
- *Splatnost faktury:* 90 dnů 2
- *Záruční lhůta:* 24 měsíců 3
- *Reference:* kladné 1

- *Dodací lhůta:* 14 týdnů 3

Dodavatel III

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

- *Cena:* 8 338 000 Kč 1
- *Splatnost faktury:* 90 dnů 2
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců 2
- *Reference:* kladné 1
- *Dodací lhůta:* 9 týdnů 2

Dodavatel IV

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

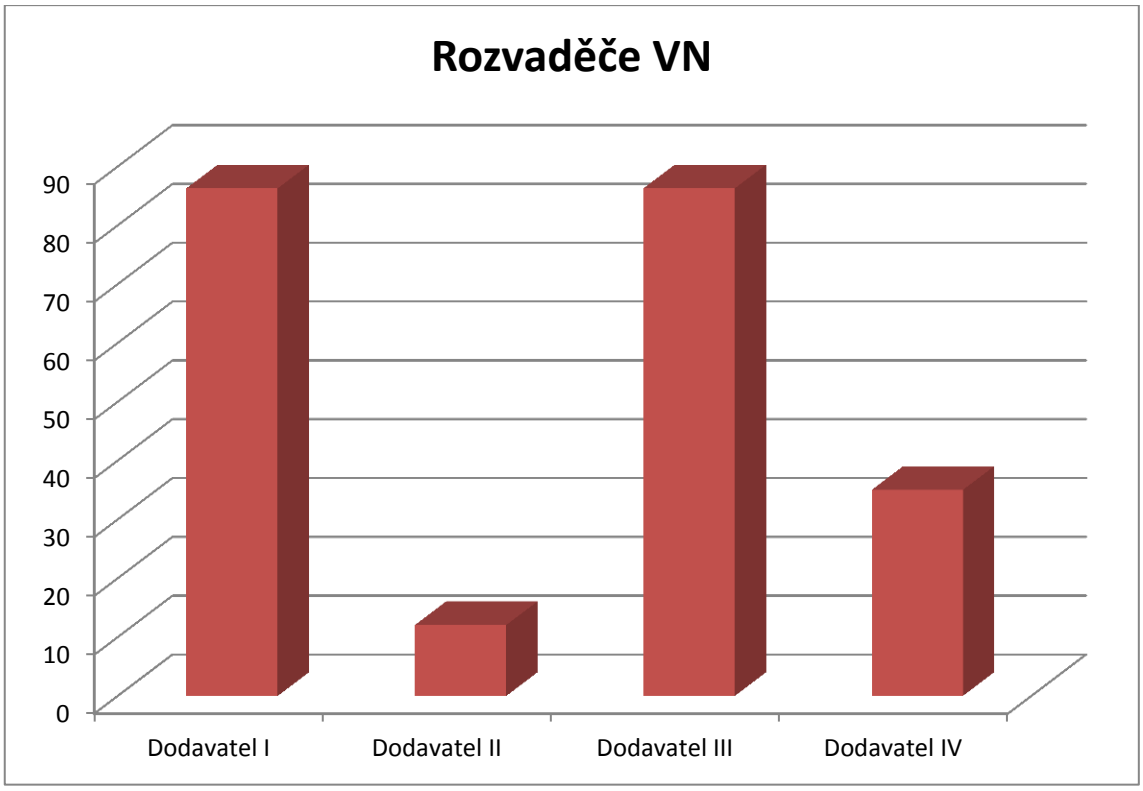
- *Cena:* 9 800 000 Kč 4
- *Splatnost faktury:* 90 dnů 2
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců 2
- *Reference:* kladné 1
- *Dodací lhůta:* 10 týdnů 2

Nejvyššího hodnocení dosáhli dva dodavatelé – Dodavatel I a Dodavatel III. Získali slovní hodnocení „výborná nabídka“. Oba dodavatelé měli shodné vstupní proměnné, proto dosáhli stejného výsledku. Nabídky ostatních dodavatelů byly klasifikovány jako „špatné“ nebo „velmi špatné“.

Tabulka 36 – Vyhodnocení dodavatelů VN rozvaděčů v MATLABUu

Dodavatel	Číselné hodnocení	Slovní hodnocení	Pořadí
Dodavatel I	86,3	výborná nabídka	1.
Dodavatel II	12	velmi špatná nabídka	4.
Dodavatel III	86,3	výborná nabídka	1.
Dodavatel IV	35	špatná nabídka	3.

Ve skutečnosti byl firmou jako dodavatel rozvodů vysokého napětí vybrán Dodavatel III, který nabídl nižší cenu a kratší dodací lhůtu.



Obrázek 50 – Vyhodnocení dodavatelů VN rozvaděčů v MATLABu

5.3.3 Dodavatelé transformátorů

Dodavatel A

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

- *Cena:* 4 309 500 Kč 1
- *Splatnost faktury:* 120 dnů 1
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců 2
- *Reference:* kladné 1
- *Dodací lhůta:* 20 týdnů 3

Dodavatel B

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

- *Cena:* 4 433 000 Kč 2
- *Splatnost faktury:* 120 dnů 1
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců 2
- *Reference:* kladné 1

- *Dodací lhůta:* 12 týdnů 2

Dodavatel C

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

- *Cena:* 4 947 852 Kč 4
- *Splatnost faktury:* 90 dnů 2
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců 2
- *Reference:* kladné 1
- *Dodací lhůta:* 12 týdnů 2

Dodavatel D

Nabídka a její převedení na vstup MATLABu:

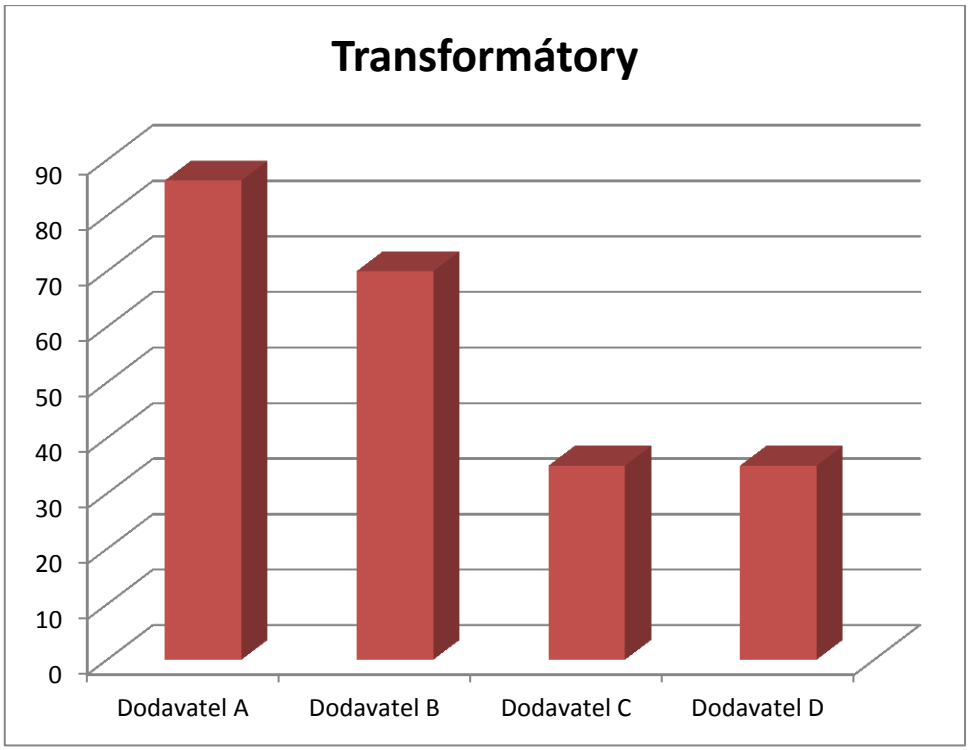
- *Cena:* 4 915 000 Kč 4
- *Splatnost faktury:* 120 dnů 1
- *Záruční lhůta:* 63 měsíců 2
- *Reference:* záporné 2
- *Dodací lhůta:* 10 týdnů 2

Jednoznačně nejlépe byl vyhodnocen Dodavatel A, který dosáhl „výborné nabídky“ a získal 86,3 bodů. Druhý v pořadí – Dodavatel B – získal 70 bodů a jeho nabídka byla vyhodnocena jako „dobrá“. Ostatní dodavatelé zaslali „špatnou nabídku“.

Tabulka 37 – Vyhodnocení dodavatelů transformátorů v MATLABUu

Dodavatel	Číselné hodnocení	Slovní hodnocení	Pořadí
Dodavatel A	86,3	výborná nabídka	1.
Dodavatel B	70	dobrá nabídka	2.
Dodavatel C	35	špatná nabídka	3.
Dodavatel D	35	špatná nabídka	3.

I v tomto případě byl jako dodavatel transformátorů vybrán nejlepší dodavatel, tedy Dodavatel A.



Obrázek 51 – Vyhodnocení dodavatelů transformátorů v MATLABu

5.4 Srovnání modelů vytvořených v Excelu a MATLABu

Fuzzy systémy navržené v Excelu a Fuzzy Logic Toolboxu v MATLABu mají své přednosti a nedostatky. Největší předností MATLABu je jeho komplexnost, plná podpora fuzzy logiky, přehledné grafické rozhraní a možnost navrhovat a provozovat složité fuzzy systémy. Nevýhodou je potom cena, nutnost zaškolení obsluhy a čas potřebný k návrhu systému.

Tabulka 38 – Srovnání MATLABu a Excelu

	MATLAB	Excel
Komplexnost	+	−
Plná podpora fuzzy logiky	+	−
Možnost řešit složité úlohy	+	−
Snadnost obsluhy	+	+
Čas návrhu systému	−	+
Zaškolení uživatele	−	+
Cena	−	+

V tomto směru má Excel výhodu, je to známý kancelářský software, a proto není nutné školení uživatelů, jednoduchý fuzzy systém lze navrhnout relativně rychle, ale neumožňuje využít plný potenciál fuzzy logiky. Další výhodou je jeho relativně nízká cena. Oba produkty jsou přehledné a jednoduché na ovládání.

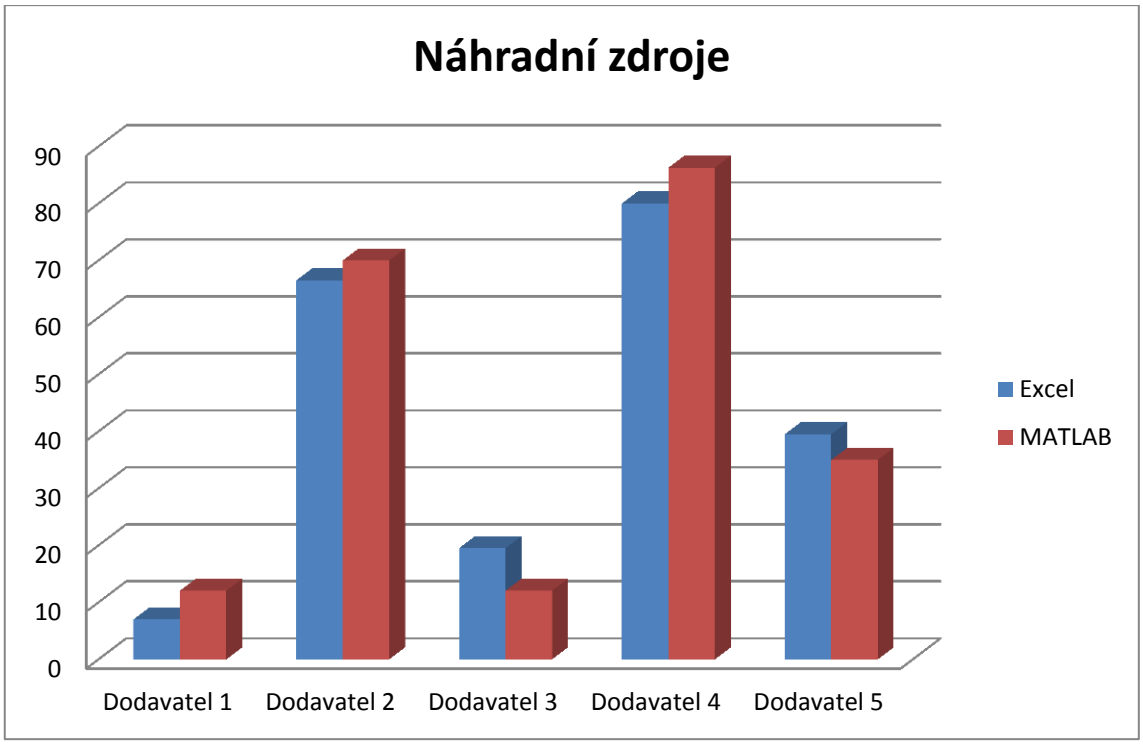
5.4.1 Dodavatelé náhradních zdrojů elektrické energie

Slovní hodnocení dodavatelů náhradních zdrojů elektrické energie dopadlo v Excelu i MATLABu shodně. Jako „výborná“ byla vyhodnocena nabídka Dodavatele 4. Obdobně to bylo i v nižších kategoriích. Číselné hodnocení se v jednotlivých případech lišilo maximálně o 7,5 bodů, které je způsobeno rozdílností výpočtů v jednotlivých systémech.

Tabulka 39 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů náhradních zdrojů

Dodavatel	Excel	MATLAB	Odchylka
Dodavatel 1	7	12	5,0
Dodavatel 2	66,5	70	3,5
Dodavatel 3	19,5	12	7,5
Dodavatel 4	80	86,3	6,3
Dodavatel 5	39,5	35	4,5

Dodavatel 4 byl firmou vybrán i ve skutečnosti, jeho technicko-ekonomická nabídka byla v ceně 5 020 000 Kč se splatností faktury do 90 dnů. Záruční lhůta na zboží je 24 měsíců bez nutnosti uzavřít servisní smlouvu, dodací lhůta do 9 týdnů. Firma eviduje u tohoto dodavatele kladné reference.



Obrázek 52 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů náhradních zdrojů

5.4.2 Dodavatelé rozvaděčů vysokého napětí

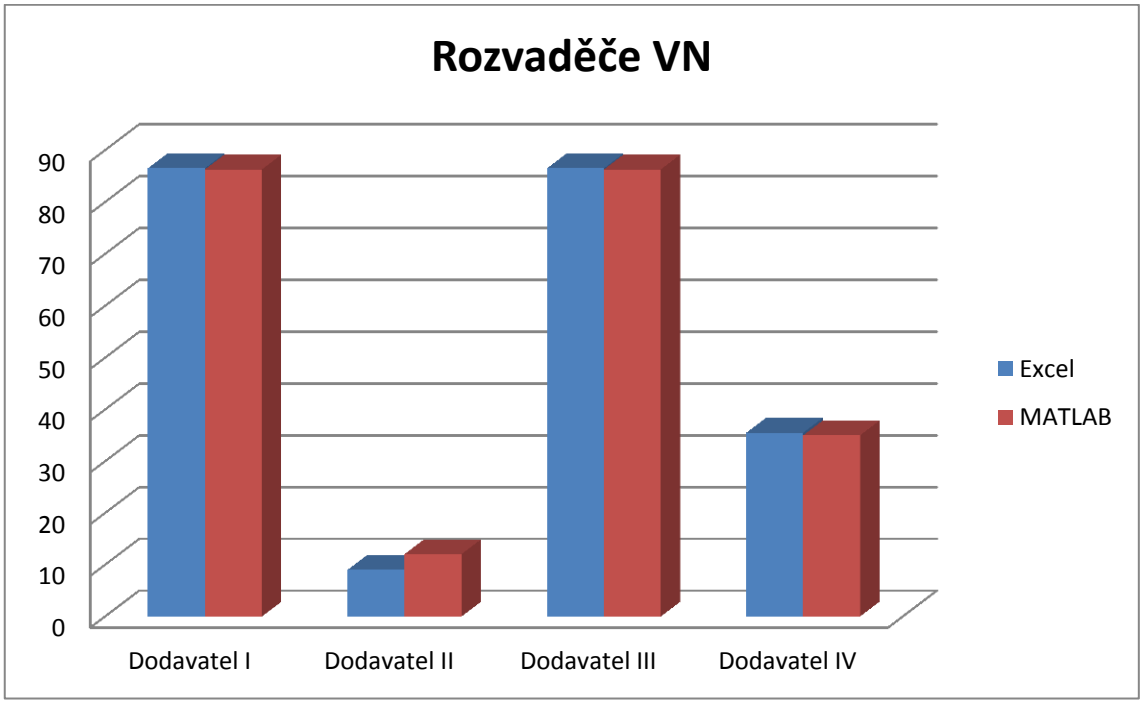
Při hodnocení dodavatelů rozvaděčů vysokého napětí také nedošlo k různému slovnímu ohodnocení dodavatelů v Excelu a MATLABu. Absolutní odchylka jednotlivých metod je ve výši 3 bodů. Nejlepšího hodnocení dosáhli shodně v MATLABu i Excelu Dodavatel I a Dodavatel III.

Tabulka 40 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů rozvaděčů

Dodavatel	Excel	MATLAB	Odchylka
Dodavatel I	86,5	86,3	0,2
Dodavatel II	9	12,0	3,0
Dodavatel III	86,5	86,3	0,2
Dodavatel IV	35,5	35,0	0,5

Jako dodavatel rozvaděčů byl firmou vybrán Dodavatel III, který na rozdíl od Dodavatele I nabídl kratší dodací lhůtu a nižší cenu. Technicko-ekonomická nabídka

Dodavatele III byla za cenu 8 338 000 Kč se splatností do 90 dnů. Maximální záruční lhůta 63 měsíců a dodací lhůta do 9 týdnů. Dodavatel má kladné reference.



Obrázek 53 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů rozvaděčů

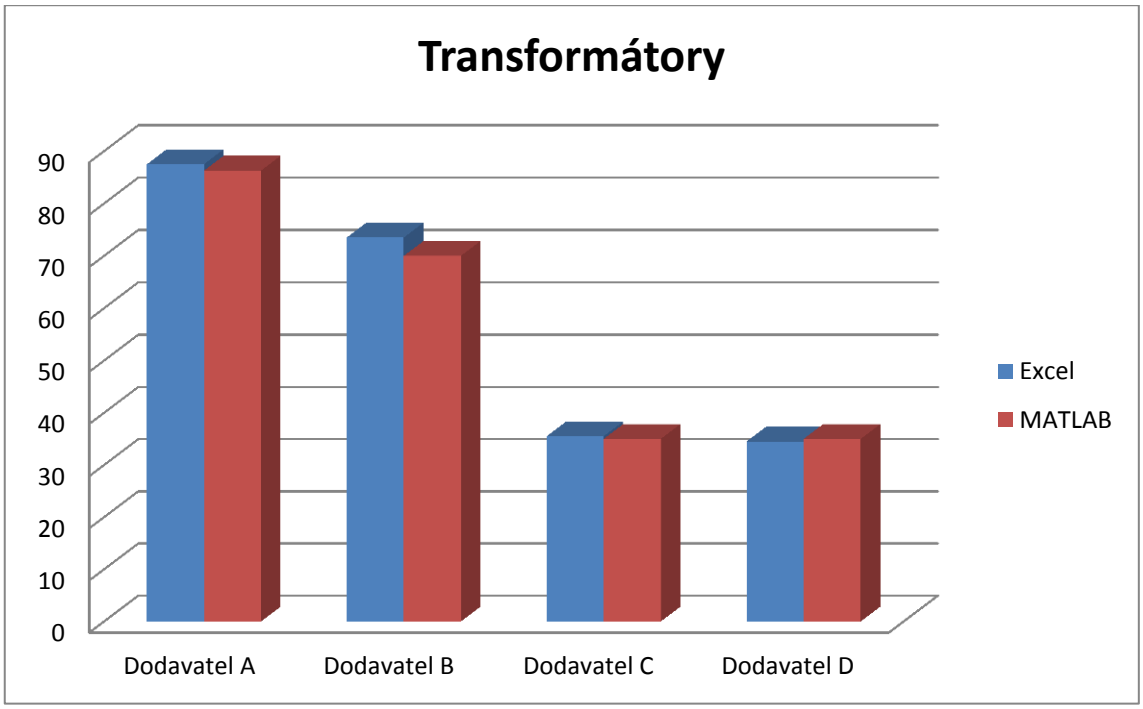
5.4.3 Dodavatelé transformátorů

Při hodnocení dodavatelů transformátorů byl shodně v Excelu i MATLABu jako nejlepší vyhodnocen Dodavatel A, v obou případech byla jeho nabídka vyhodnocena jako „výborná“. Ani zde nedošlo u dalších dodavatelů k rozdílným slovním výsledkům. Maximální rozdíl ve výsledcích při srovnání obou metod je 1,2 bodů.

Tabulka 41 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů transformátorů

Dodavatel	Excel	MATLAB	Odchylka
Dodavatel A	87,5	86,3	1,2
Dodavatel B	73,5	70	3,5
Dodavatel C	35,5	35	0,5
Dodavatel D	34,5	35	0,5

V reálné situaci byl společností jako dodavatel transformátorů vybrán Dodavatel A. Jeho technicko-ekonomická nabídka obsahovala cenu 4 309 500 Kč a splatnost faktur 120 dnů. Maximální záruční lhůta je 63 měsíců od dodání zboží, dodací lhůta je 20 týdnů. I u tohoto dodavatele jsou evidovány kladné reference.



Obrázek 54 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů transformátorů

6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout fuzzy systém pro hodnocení dodavatelů společnosti OHL ŽS, a.s. Požadavkem bylo, aby byl navržený systém univerzální a vyhovoval potřebám společnosti. Tohoto cíle bylo dosaženo, systémy jsou zpracovány v programu Microsoft Excel a MathWorks MATLAB s využitím Fuzzy Logic Toolboxu.

Dodavatelé jsou hodnoceni na základě pěti kritérií: ceny, splatnosti faktury, záruční lhůty, referencí a dodací lhůty. V modelu zpracovaném v Excelu má cena nejvyšší váhu a má pět stavů, ostatní kritéria až na reference mají tři stavy. Reference mají z pochopitelných důvodů stavy pouze dva – kladné reference a záporné/žádné reference. Model vytvořený v MATLABu vychází z předchozího modelu, kritéria i členské funkce odpovídají kritériím a stavům v Excelu. Výstupní proměnná má také pět stavů/členských funkcí. Tvar členských funkcí byl zvolen vždy lineární, nejčastěji byly použity trojúhelníkové funkce, dále L a Γ funkce u krajních hodnot.

Zde řešená výběrová řízení se týkají stejné akce – rekonstrukce Fakultní nemocnice Ostrava-Poruba, které byly již realizovány. Jedná se o tři výběrová řízení, ve které byl vybírán dodavatel náhradních zdrojů energie – dieselagregátů, dodavatel rozvaděčů vysokého napětí a dodavatel transformátorů.

Výběrového řízení na výběr dodavatele náhradních zdrojů elektrické energie se zúčastnilo sedm firem, ale specifikace i po druhém dodatku poptávky splnilo pouze pět z nich. Jako nejlepší byl vyhodnocen Dodavatel 4, který jako jediný dosáhl na slovní hodnocení „výborná nabídka“. Tento dodavatel představil technicko-ekonomickou nabídku s jednoznačně nejnižší cenou, konkrétně 5 020 000 Kč. Splatnost faktur byla 90 dnů, záruční lhůta 24 měsíců, kterou šlo prodloužit při uzavření servisní smlouvy, dodací lhůta byla nejkratší, maximálně do 9 týdnů. Reference jsou u tohoto dodavatele kladné. I ve skutečnosti byl tento dodavatel firmou vybrán.

Výběrového řízení na výběr dodavatele náhradních zdrojů elektrické energie se zúčastnilo pět firem, ale specifikace byly schopny splnit pouze čtyři firmy. Slovního hodnocení „výborná nabídka“ získali dva dodavatelé: Dodavatel I a Dodavatel III. Oba získali shodné

bodové hodnocení v Excelu i MATLABU, protože představili téměř shodné technicko-ekonomické nabídky. Ve skutečnosti byl firmou jako dodavatel rozvodů vysokého napětí vybrán Dodavatel III, který nabídl nižší cenu a kratší dodací lhůtu. Konkrétně byla cena 8 338 000 Kč se splatností do 90 dnů. Maximální záruční lhůta 63 měsíců a dodací lhůta do 9 týdnů. Dodavatel má kladné reference.

Výběrového řízení na výběr dodavatele transformátorů se zúčastnilo pět firem, ale specifikace splnily pouze čtyři firmy. Slovního hodnocení „výborná nabídka“ dosáhl pouze jeden dodavatel – Dodavatel A. Jeho technicko-ekonomická nabídka obsahovala cenu 4 309 500 Kč a splatnost faktur 120 dnů. Maximální záruční lhůta byla 63 měsíců od dodání zboží, dodací lhůta byla 20 týdnů. I u tohoto dodavatele jsou evidovány kladné reference. Ve skutečnosti byl i tento dodavatel firmou vybrán jako dodavatel transformátorů.

Navrhnutý fuzzy systém byl testován i na dalších výběrových řízeních a aktuálně probíhajících výběrových řízeních, kde slouží jako podpora pro rozhodování. Shledávám proto navrhnutý model přínosný i pro společnost OHL ŽS, a.s. Do budoucna si dovedu představit integraci tohoto systému hodnocení dodavatelů do informačního systému firmy, kde by mohl ihned vyhodnocovat nabídky, poskytovat relevantní informace a složit jako nástroj pro podporu rozhodovaní v celé struktuře firmy.

Seznam použité literatury

1. JURA, Pavel. *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Nakladatelství VUTIUM, 2003, 132 s. ISBN 80-214-2261-0.
2. POLÁK, Josef. *Přehled středoškolské matematiky*. 8. vyd. Praha: Prometheus, 2005, 608 s. ISBN 80-719-6267-8.
3. NAVARA, Mirko a Petr OLŠÁK. *Základy fuzzy množin*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 150 s. ISBN 978-80-01-03668-6.
4. DOSTÁL, Petr. *Pokročilé metody analýz a modelování v podnikatelství a veřejné správě*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 340 s. ISBN 978-80-7204-605-8.
5. TŮMA, František. *Automatické řízení*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 184 s. ISBN 80-7082-698-3.
6. VYSOKÝ, Petr. *Fuzzy řízení*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 1996, 131 s.
7. DOSTÁL, Petr. *Advanced decision making in business and public services*. 1st ed. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 167 s. ISBN 978-80-7204-747-5.
8. DOSTÁL, Petr. *Pokročilé metody rozhodování v podnikatelství a veřejné správě*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012, 713 s. ISBN 978-80-7204-798-7.
9. MAŘÍK, Vladimír, Olga ŠTĚPÁNKOVÁ a Jiří LAŽANSKÝ. *Umělá inteligence*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2003, 475 s. ISBN 80-200-1044-0.
10. MCCAWLEY, James D. *Everything that linguists have always wanted to know about logic but were ashamed to ask*. 2nd ed. Chicago: University of Chicago Press, 1993, xxi, 633 p. ISBN 02-265-5611-5.
11. NOVÁK, Vilém, Irina PERFILIEVA a Jiří MOČKOŘ. *Mathematical principles of fuzzy logic*. Boston: Kluwer Academic, c1999, xiii, 320 p. ISBN 07-923-8595-0.
12. ZADEH, Lotfi A. Fuzzy Sets. In: *Information and Control*. 1965, s. 338-353. 8, 3.
13. Profil společnosti. *OHL ŽS* [online]. © 2013 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: http://www.ohlzs.cz/profil-spolecnosti

14. OHL ŽS. *Výroční zpráva: 2011*. Brno: OHL ŽS, 2012, 190 s. Dostupné z: http://www.ohlzs.cz/fileadmin/user_upload/informace/vyrocni_zpravy/OHL_ZS_vyrocni_zprava_2011_LONG_1.pdf
15. Obchodní rejstřík a sbírka listin: Výpis z obchodního rejstříku. *Justice.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: http://portal.justice.cz/Justice2/Uvod/uvod.aspx
16. OHL ŽS, a.s. - obchodní rejstřík, vizualizace vztahů firem. *Podnikani.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: http://obchodni-rejstrik.podnikani.cz/46342796/ohl-zs-as/
17. Seznam certifikátů. *OHL ŽS* [online]. © 2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: http://www.ohlzs.cz/seznam-certifikatu
18. Historie společnosti. *OHL ŽS* [online]. © 2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: http://www.ohlzs.cz/historie-spolecnosti
19. Power Products. *SDMO* [online]. 2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: http://www.sdmo.com/EN/Products/PPR/Power-gen-products
20. Gas-insulated switchgear 8DJH. *Siemens* [online]. 2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: http://w3.siemens.com/powerdistribution/global/EN/mv/medium-voltage-switchgear/gis-secondary-distribution-systems/Pages/8djh.aspx
21. Suché transformátory. *BEZ Group International* [online]. 2008 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: http://www.bez.sk/transformatory/index.php?goto=text&sekce=ho73CTpq&tid=vciUgDeP&lng=cz

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Pravdivostní hodnoty klasické logiky 12
Tabulka 2 – Typické označení fuzzy hodnot 30
Tabulka 3 – Počet rozlišitelných úrovní pomocí smyslů 30
Tabulka 4 – Počet sémantických bloků 31
Tabulka 5 – Pravdivostní hodnoty Łukasiewiczovy trojhodnotové logiky 36
Tabulka 6 – Nabídky dodavatelů náhradních zdrojů 47
Tabulka 7 – Nabídky dodavatelů rozvaděčů 49
Tabulka 8 – Nabídky dodavatelů transformátorů 51
Tabulka 9 – Prvotní návrh kritérií rozdělený do tří skupin včetně vah 52
Tabulka 10 – Prvotní návrh kritérií rozdělený do dvou skupin včetně vah 53
Tabulka 11 – Distribuce vah u druhého modelu 53
Tabulka 12 – Základní stavová matice druhého modelu 53
Tabulka 13 – Distribuce vah v předfinálním modelu 54
Tabulka 14 – Základní stavová matice 55
Tabulka 15 – Transformační matice 56
Tabulka 16 – Transformace nabídek 56
Tabulka 17 – Transformace cen 57
Tabulka 18 – Retransformační matice 58
Tabulka 19 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele 1 59
Tabulka 20 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele 2 59
Tabulka 21 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele 3 60
Tabulka 22 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele 4 61
Tabulka 23 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele 5 61
Tabulka 24 – Vyhodnocení dodavatelů náhradních zdrojů v Excelu 62
Tabulka 25 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele I 63
Tabulka 26 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele II 64
Tabulka 27 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele III 64
Tabulka 28 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele IV 65
Tabulka 29 – Vyhodnocení dodavatelů VN rozvaděčů v Excelu 65
Tabulka 30 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele A 67
Tabulka 31 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele B 67

Tabulka 32 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele C 68
Tabulka 33 – Vstupní stavová matice pro Dodavatele D 69
Tabulka 34 – Vyhodnocení dodavatelů transformátorů v Excelu 69
Tabulka 35 – Vyhodnocení dodavatelů náhradních zdrojů v MATLABUu 78
Tabulka 36 – Vyhodnocení dodavatelů VN rozvaděčů v MATLABUu 80
Tabulka 37 – Vyhodnocení dodavatelů transformátorů v MATLABUu 82
Tabulka 38 – Srovnání MATLABu a Excelu 83
Tabulka 39 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů náhradních zdrojů 84
Tabulka 40 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů rozvaděčů 85
Tabulka 41 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů transformátorů 86

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Možné řešení paradoxu hromady 13
Obrázek 2 – Základní pojmy fuzzy množin 15
Obrázek 3 – Konvexnost fuzzy množin 16
Obrázek 4 – Průběh Γ-funkce 16
Obrázek 5 – Průběh L-funkce 17
Obrázek 6 – Průběh Λ-funkce 17
Obrázek 7 – Průběh Π-funkce 18
Obrázek 8 – Průběh S-funkce podle Zadeha 19
Obrázek 9 – Průběh Π-funkce podle Zadeha 19
Obrázek 10 – Průnik fuzzy množin 20
Obrázek 11 – Sjednocení fuzzy množin 20
Obrázek 12 – Doplněk fuzzy množiny 21
Obrázek 13 – Průnik fuzzy množin podle jiné definice 21
Obrázek 14 – Sjednocení fuzzy množin podle jiné definice 22
Obrázek 15 – Omezený součet fuzzy množin 23
Obrázek 16 – Omezený rozdíl fuzzy množin 23
Obrázek 17 – Mocnina fuzzy množiny 24
Obrázek 18 – Součin fuzzy množin 24
Obrázek 19 – Součet fuzzy čísel 25
Obrázek 20 – Rozdíl fuzzy čísel 1 26
Obrázek 21 – Rozdíl fuzzy čísel 2 26
Obrázek 22 – Součin fuzzy čísel 26
Obrázek 23 – Podíl fuzzy čísel 1 27
Obrázek 24 – Podíl fuzzy čísel 2 27
Obrázek 25 – Aritmetické operace pomocí intervalové aritmetiky 28
Obrázek 26 – Struktura fuzzy systému 29
Obrázek 27 – Mamdaniho implikace 32
Obrázek 28 – Defuzzifikace COA členské funkce singleton 33
Obrázek 29 – Metoda defuzzifikace COA 34
Obrázek 30 – Metoda defuzzifikace COS 34
Obrázek 31 – Metoda defuzzifikace CAM 35

Obrázek 32 – Metoda defuzzifikace FoM 35
Obrázek 33 – Metoda defuzzifikace MoM 36
Obrázek 34 – Logotyp OHL ŽS, a.s. 41
Obrázek 35 – Vizualizace vazeb v obchodním rejstříku 42
Obrázek 36 – Organizační struktura společnosti 43
Obrázek 37 – Ilustrační obrázek náhradního zdroje 46
Obrázek 38 – Ilustrační obrázek VN rozvaděče 48
Obrázek 39 – Ilustrační obrázek suchého transformátoru 50
Obrázek 40 – Vyhodnocení dodavatelů náhradních zdrojů v Excelu 62
Obrázek 41 – Vyhodnocení dodavatelů VN rozvaděčů v Excelu 66
Obrázek 42 – Vyhodnocení dodavatelů transformátorů v Excelu 70
Obrázek 43 – MATLAB 71
Obrázek 44 – FIS Editor 72
Obrázek 45 – Membership Function Editor 73
Obrázek 46 – Rule Editor 74
Obrázek 47 – Rule Viewer 75
Obrázek 48 – Surface Viewer 76
Obrázek 49 – Vyhodnocení dodavatelů náhradních zdrojů v MATLABu 79
Obrázek 50 – Vyhodnocení dodavatelů VN rozvaděčů v MATLABu 81
Obrázek 51 – Vyhodnocení dodavatelů transformátorů v MATLABu 83
Obrázek 52 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů náhradních zdrojů 85
Obrázek 53 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů rozvaděčů 86
Obrázek 54 – Srovnání modelů hodnocení dodavatelů transformátorů 87

Seznam příloh

Příloha A – Protokol o výběru dodavatele

Příloha B – Hodnoceni_dodavatelu.m

Příloha A – Protokol o výběru dodavatele

Protokol o výběru dodavatele

Závod , divize/stř.	
Zadávání zakázky	
Zakázkové číslo	
Předmět zakázky	
Cena dle smlouvy	
Cena dle smlouvy snížená o krycí příspěvek	

Název vyzvaného dodavatele adresa	**Kontaktní osoba, mobil. telefon telefon / FAX / e-mail**	**Splnění kvalifikace (ano/ne)**	**Splnění zadávacích podmínek**	**Nabídková cena bez DPH**	**Vytendrovaná cena bez DPH**	**Pořadí dle nabídkové ceny**	**Hrubý zisk**	**Poznámka (např. záruka, termín, certifikace ISO 9001, 14001, 18001, popř. EMAS, bližší cenové informace, aj.)**

Výběrová komise	***podpis***

Výběrovou komisí je navržena firma .....s cenou .....,(zdůvodnění) .....

kterou doporučuje řediteli sekce/divize k zadání zakázky a uzavření smlouvy.

Rozhodnutí ředitele sekce/divize o zadání zakázky: Smlouva bude uzavřena s firmou ..... se smluvní cenou .....

Datum: ..... Podpis: .....

Příloha B – Hodnoceni_dodavatelu.m

```
FL=readfis('Hodnoceni_dodavatelu.fis');
disp('Cenu zadejte v intervalu 1 az 5, mensi hodnota je lepsi nez vyssi.')
disp('1=velmi nizka cena, 2=nizka cena, 3=stredne vysoka cena, 4=vysoka cena, 5=velmi
vysoka cena')
Cena=input('Zadejte cenu: ');
while Cena>5 || Cena<1
    disp('Zadana hodnota je mimo povoleny rozsah (1 az 5), zadejte ji prosim znovu.')
    disp('1=velmi nizka cena, 2=nizka cena, 3=stredne vysoka cena, 4=vysoka cena,
5=velmi vysoka cena')
    Cena=input('Zadejte cenu: ');
end
disp('Splatnost faktury zadejte v intervalu 1 az 3, mensi hodnota je lepsi nez vyssi.')
disp('1=dlouha splatnost, 2=stredne dlouha splatnost, 3=kratka splatnost')
Splatnost_faktury=input('Zadejte splatnost faktury: ');
while Splatnost_faktury>3 || Splatnost_faktury<1
    disp('Zadana hodnota je mimo povoleny rozsah (1 az 3), zadejte ji prosim znovu.')
    disp('1=dlouha splatnost, 2=stredne dlouha splatnost, 3=kratka splatnost')
    Splatnost_faktury=input('Zadejte splatnost faktury: ');
end
disp('Zarucni lhutu zadejte v intervalu 1 az 3, mensi hodnota je lepsi nez vyssi.')
disp('1=dlouha zarucni lhuta, 2=stredne dlouha zarucni lhuta, 3=kratka zarucni lhuta')
Zarucni_lhuta=input('Zadejte zarucni lhutu: ');
while Zarucni_lhuta>3 || Zarucni_lhuta<1
    disp('Zadana hodnota je mimo povoleny rozsah (1 az 3), zadejte ji prosim znovu.')
    disp('1=dlouha zarucni lhuta, 2=stredne dlouha zarucni lhuta, 3=kratka zarucni
lhuta')
    Zarucni_lhuta=input('Zadejte zarucni lhutu: ');
end
disp('Refernce zadejte v intervalu 1 az 2, mensi hodnota je lepsi nez vyssi')
disp('1=kladne reference, 2=zaporne nebo zadne reference')
Reference=input('Zadejte reference: ');
while Reference>2 || Reference<1
    disp('Zadana hodnota je mimo povoleny rozsah (1 az 2), zadejte ji prosim znovu.')
    disp('1=kladne reference, 2=zaporne nebo zadne reference')
    Reference=input('Zadejte reference: ');
end
disp('Dodaci lhutu zadejte v intervalu 1 az 3, mensi hodnota je lepsi nez vyssi.')
disp('1=kratka dodaci lhuta, 2=stredne dlouha dodaci lhuta, 3=dlouha dodaci lhuta')
Dodaci_lhuta=input('Zadejte dodaci lhutu: ');
while Dodaci_lhuta>3 || Dodaci_lhuta<1
    disp('Zadana hodnota je mimo povoleny rozsah (1 az 3), zadejte ji prosim znovu.')
    disp('1=kratka dodaci lhuta, 2=stredne dlouha dodaci lhuta, 3=dlouha dodaci lhuta')
    Dodaci_lhuta=input('Zadejte dodaci lhutu: ');
end
VstupniUdaje=[Cena; Splatnost_faktury; Zarucni_lhuta; Reference; Dodaci_lhuta];
Vyhodnoceni=evalfis(VstupniUdaje, FL);
Vyhodnoceni
if Vyhodnoceni<20 disp('Velmi spatna nabidka')
    elseif Vyhodnoceni<40 disp('Spatna nabidka')
    elseif Vyhodnoceni<60 disp('Stredne dobra nabidka')
    elseif Vyhodnoceni<80 disp('Dobra nabidka')
    else disp('Vyborna nabidka')
end
```