

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 803

ISSN 1213-4198

thesis
?
IS

Ing. Michal Pavlíček

**Fuzzy model rozhodování investora
do fotovoltaických technologií
v předprojektční fázi**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV EKONOMIKY

Ing. Michal Pavlíček

**FUZZY MODEL ROZHODOVÁNÍ INVESTORA
DO FOTOVOLTAICKÝCH TECHNOLOGIÍ
V PŘEDPROJEKČNÍ FÁZI**

FUZZY MODEL OF INVESTOR'S DECISION INTO
PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGIES DURING PRE-DESIGN PHASE

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Řízení a ekonomika podniku
Školitel: prof. Ing. Mirko Dohnal, DrSc.
Oponenti: doc. RNDr. Helena Brožová, CSc.
prof. Ing. Jan Čapek, CSc.
prof. Ing. Vojtěch Koráb, Dr., MBA
Datum obhajoby: 8. dubna 2016

Klíčová slova:

Fuzzy znalostní báze, Dialog, Rozhodování, Investice, Fotovoltaika.

Keywords:

Fuzzy Knowledge Base, Dialogue, Decision, Investment, Photovoltaic.

Místo uložení práce:

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta podnikatelská

Kolejní 2906/4

612 00 Brno

Knihovna FP VUT v Brně

© Michal Pavlíček, 2016

ISBN 978-80-214-5348-7

ISSN 1213-4198

OBSAH

ÚVOD	5
1. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	5
2. ANALÝZA STAVU POZNÁNÍ V DANÉ OBLASTI	5
2.1 Krátký přehled nedávných výzkumů zabývajících se oblastí fotovoltaiky	5
2.2 Přehled použití fuzzy expertních systémů a znalostní báze	6
2.3 Metody vícekritériálního rozhodování	7
3. ZVOLENÉ TECHNIKY A METODY DISERTAČNÍ PRÁCE	8
3.1 Fuzzy logika	8
3.2 Popis činnosti fuzzy expertního systému.....	11
4. SESTAVENÍ ZNALOSTNÍ BÁZE A DIALOG	13
4.1 Množina podmíněných výrazů	14
4.2 Definice proměnných a sestavení slovníků	14
4.3 Váhy proměnných.....	17
4.4 Odlad'ování	17
4.5 Dialog se znalostní bází.....	17
4.6 Základní popis projektů	18
4.7 Jednorázový dotaz na znalostní bází	18
4.8 Dialog se znalostní bází.....	19
4.9 Diskuze	25
5. ZÁVĚR	26
6. ZDROJE.....	27
7. CURRICULUM VITAE	29
8. STRUKTUROVANÝ PŘEHLED VLASTNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOSTI.....	30
9. ABSTRACT.....	30

ÚVOD

Obnovitelné zdroje energie začínají být nedílnou součástí dnešního pohledu na způsob výroby elektrické energie. Téma investic do fotovoltaických technologií je aktuální od 80. let 20. století. Masově se však začalo do těchto technologií investovat v EU na přelomu let 2006/2007. Od této doby můžeme sledovat prudký nárůst celkového instalovaného výkonu. Disertace se zaměřuje na návrh znalostní báze podporující rozhodování investora při investici do projektu sestávajícího z fotovoltaické technologie v předprojektční fázi. Podnětem k navržení znalostní báze využívající expertního systému pro analýzu dat je situace neustálých změn vstupujících proměnných a jejich vyhodnocení. I přes to, že mnoho světových regionů tyto zdroje podporuje, není jednoduché orientovat se v legislativních nařízeních a celkově v celém byrokratickém procesu povolování staveb tohoto charakteru. Účelem znalostní báze a expertního systému je snížení rizik plynoucích z investice do těchto technologií a pomoci nalézt odpovědi na neustále se měnící, komplexní a vágní investiční prostředí. Investor se tak bude moci lépe rozhodnout o investici ještě v předprojektční fázi. Díky tomu může snížit riziko neúspěchu své investice a také omezit zbytečné náklady na projektovou dokumentaci a soubor nutných povolení pro projekty, které se zdají být neúspěšné od samého začátku ještě v předprojektční fázi.

1. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavním cílem disertační práce je vytvoření znalostní báze na základě uskutečněných fotovoltaických projektů a návrh dialogu s touto znalostní bází pro objektivizaci rozhodování o nových projektech.

Jednotlivé dílčí cíle práce jsou:

- Identifikace možných metod a výběr vhodné metody pro tvorbu modelu.
- Návrh proměnných vstupujících do rozhodovacího procesu.
- Sestavení znalostní báze uskutečněných projektů.
- Sestavení slovníků proměnných.
- Implementace do programové podoby pro umožnění zpracování výpočetní technikou.
- Dialog se znalostní bází. Ověření správnosti generovaných výsledků a diskuze.

2. ANALÝZA STAVU POZNÁNÍ V DANÉ OBLASTI

Náklady na investici do fotovoltaických technologií se od roku 2008 do roku 2015 snížili o více než dvě třetiny. Pokud by vývoj nákladů pokračoval v tomto trendu i nadále, dosáhli bychom „grid-parity“ na celém světě do 2 až 3 let. Takto rychlý a turbulentní vývoj cen odvětví nebyl v minulosti predikován.

2.1 Krátký přehled nedávných výzkumů zabývajících se oblastí fotovoltaiky

Potenciál trhu s fotovoltaikou nebyl investory dlouhou dobu identifikován i přesto, že technologie byly běžně dostupné již v devadesátých letech. Investoři tehdy ještě neviděli jedinečné investiční vlastnosti, které fotovoltaické technologie mohou přinést (Awerbuch, 2000). V roce 2003 začal jeden z prvních růstů trhu s fotovoltaickými technologiemi. Nadcházející vývoj a zavedení prvních dotačních programů začal formovat budoucí expanzi, která skokově vzrostla v letech 2007 až 2010 (Green, 2004). Pro dosažení náročných cílů v oblasti alternativních zdrojů energie stanovených Evropskou Unií bylo nezbytné, aby pokrytí nákladů vzniklých při instalaci a provozu takovýchto systémů bylo podporováno

(Ringel, 2006). Téměř na celém světě lidé začali podnikat kroky vedoucí k privatizaci energetického průmyslu a začali podporovat ekologicky šetrné technologie (Patlitzianas, 2006). Evropská unie přijala cíl zvýšit využívání obnovitelných zdrojů energie, které sníží emise oxidu uhličitého. Fotovoltaické systémy dnes patří mezi obnovitelné zdroje energie, které tento cíl mají naplnit. Fotovoltaické systémy přeměňují světelné záření na elektrickou energii pomocí fotovoltaických článků (panelů). Jsou charakteristické svojí modularitou, bezobslužností a dlouhou dobou provozu (Ulieru, 2009). Tyto systémy jsou vždy také spojené s administrativními a regulačními otázkami. Investoři si musí být vědomi rizik, která s tím souvisejí (Wright, 2010). Vývoj trhu s fotovoltaikou je dnes pevně svázán s podporou politiky vykonávanou národními vládami a podle národních právních předpisů. Korekce těchto pobídek může významně ovlivnit růst i pokles trhu s fotovoltaikou v jakékoli zemi (Dusonchet, 2010). Promítneme-li poslední trendy v odvětví do budoucnosti, lze odhadnout, že velké fotovoltaické projekty (tzv. Utility Scale) jsou již dnes na dobré cestě stát se nákladově konkurenceschopné na úrovni „grid-parity“ do konce tohoto desetiletí. Dokazuje to i zvyšující se výrobní kapacity, kdy v roce 2010 bylo instalováno dalších téměř 17 GWp solárních elektráren (Reichelstein, 2013). „Grid-parity“ dosahují instalace v Itálii již od roku 2014. Lze předpokládat, že vzhledem k vývoji nákladů a cen energie bude grid-parity dosaženo do roku 2020 i v mnoha dalších zemích EU (EPIA, 2011).

2.2 Přehled použití fuzzy expertních systémů a znalostní báze

Základní koncept přístupu fuzzy logiky a fuzzy množin definoval L.A. Zadeh již v roce 1965. V současné době se fuzzy logika využívá v mnoha oborech (Bojadziev, 2007, Klir, 1995), ale stále častěji se dává do souvislosti s popisem ekonomických problémů (Cox, 1995, von Altrock, 1996), kdy popisují dané problémy pomocí fuzzy množin. Fuzzy pravidla mají jedinečné výhody ve srovnání s běžnými pravidly. Zkušenosti ukazují, že výsledky získané fuzzy logikou popisující zkoumanou problematiku, jsou velmi užitečné a často používané (Dutta, 1993). Historický úspěch použití fuzzy množin je především spjat s jejich použitím společně s expertními systémy (Gaines, 1985). Pro budoucí energetickou prosperitu a udržitelné životní prostředí je nezbytné abychom energetiku plánovali a modelovali. K tomu slouží techniky jako jsou fuzzy logika, neuronové sítě nebo genetické algoritmy, které jsou již dnes běžně využívány. Modely založené na fuzzy logice dokáží již dnes podávat opravdu realistické odhady (Suganthi, 2015). Vzhledem k neustále se snižující podpoře FV instalací za poslední roky, které proběhly téměř ve všech zemích po celém světě, docházíme k otázce výnosnosti těchto investic. Při těchto podmínkách by měl návrh nových FV instalací být v souladu s reálnou spotřebou elektrické energie. Je také nezbytné přidávat další funkce jako je systém energetického managementu. Pomocí fuzzy logiky byl například vytvořen systém, který modeluje spotřebu energie v kombinaci s analýzou nákladů a určení ekonomických přínosů (Ciabattini, 2015). Pro zvládnutí nepřesností, nejednoznačných skutečností, subjektivních analýz a neurčitých rozhodovacích pravidel je vhodné použití fuzzy logiky. Lze jimi analyzovat i problémy jakou jsou politická a sociální rizika, potíže se směnnými kurzy, obchodní bilance a další (Levy, 1995). Investiční projekty podporované státem jsou důležité z hlediska národní politiky, avšak skrývají v sobě mnoho problémů. Je nutné správné vyhodnocení a rozdělení finančních zdrojů transparentním a efektivním způsobem. Je tedy zapotřebí vzít v úvahu mnoho kritérií spjatých s každým projektem. Rozhodovací procesy, které hodnotí těžko vyčíslitelné jazykové pojmy a mají také potíže s jejich měřitelností, lze řešit pomocí fuzzy přístupu (Kilic, 2015). Rozhodování v oblasti investic lze podpořit také díky použitím znalostní báze společně s expertním systémem (Zopounidis, 1997). Oblast znalostníchází se stává čím dál více atraktivní, avšak současné znalosti modelování ještě nejsou zdaleka kompletní (Li, 2011). V důsledku ekonomického vývoje a rozšiřujícího se povědomí o ekologických rizicích, vzniká poptávka po plánování a rozhodování zohledňující

složitost okolí celého systému. Podpora pro rozhodování v takové situaci může být poskytnuta pomocí informačních systémů obsahující znalostní báze (Seder, 2000). Expertní systémy umožňující dialog mohou být vnímány jako nový způsob komunikace mezi uživatelem a expertem, podobně jako při rozhovoru po telefonu. Díky variabilitě fuzzy jazyka lze zvýšit vyjadřovací schopnosti při komunikaci s expertním systémem (Whalen, 1988). Je však nutné si uvědomit, že expertní systémy, které pracují v turbulentním prostředí, mají sklon být ovlivňovány velkým počtem vnějších faktorů, které jsou v našem prostředí běžné. Pokud máme zohlednit tyto vnější faktory v expertních systémech můžeme použít fuzzy přístup (Lee, 1994). V případě, že integrujeme fuzzy znalostní bázi do expertního systému pro podporu rozhodování, systém dosáhne nejen zlepšení při rozhodování uživatele, ale rozšíří také možnosti jeho uplatnění (Xu, 1996).

2.3 Metody vícekritériálního rozhodování

„*Modely vícekritériálního rozhodování zobrazují rozhodovací problémy, v nichž se důsledky rozhodnutí posuzují podle více kritérií. Vícekritériálnost charakterizuje téměř každou rozhodovací situaci*“ (Šubrt, 2011). Smyslem těchto modelů je nalezení „nejlepší“ varianty z hlediska všech uvažovaných proměnných, případně seřazení do množiny variant, nebo vyloučení nevyhovujících variant. Model vícekritériální analýzy je zpravidla dán konečnou množinou m variant, které se hodnotí n kritérii. Tato kritéria musí být nezávislá, a měla by uvažovat všechna hlediska výběru. Jejich počet by měl být omezený, aby řešený problém nebyl nepřehledný (Šubrt, 2011). Hodnocení variant dle kvantifikovaných kritérií můžeme napsat ve tvaru kritériální matice Y :

$$Y = \begin{matrix} & & f_1 & f_2 & \dots & f_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} & \left(\begin{matrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{matrix} \right) \end{matrix}$$

kde y_{mn} vyjadřuje hodnocení m -té varianty podle n -tého kritéria.

V matici Y odpovídají sloupce kritériím a řádky hodnoceným variantám. Matice může obsahovat jak číselná, tak slovní hodnocení. V případě, že matice obsahuje slovní hodnocení variant, mluvíme spíše o kritériální tabulce. (Šubrt, 2011)

Komplexní rozbor metod vícekritériálního rozhodování a jejich srovnání v hierarchii byl proveden již v minulosti. Metody pro podporu rozhodování se zabývají podporou rozhodování při neznámých dopadech rozhodnutí rozhodovatele. Poskytují formální metodiku systematického zkoumání při složité a neprůhledné rozhodovací situaci, formulacích alternativních postupů, zacházení s informacemi a nejistotou, preferencemi a hodnocením domněle „nejlepšího“ nebo alternativního postupu. Metody rozhodování spojují dvě oblasti: teorie statistického rozhodování racionálního chování v jednoduchých situacích a systémové analýzy. Od roku 1960 se metody rozhodování vyvinuly do různých forem s rozdílnými zájmy a důrazy. Mezi hlavní faktory řešení patří: řešení konfliktů mezi cíli, které obsahují nejistotu výsledků a vyhodnocením více možností. Jedna z prvních aplikací metody rozhodování byla provedena v roce 1960. Zabývala se tehdy rozhodováním v oboru ropného průmyslu a zemního plynu. Další expanze následovala v soukromém sektoru, kde se objevily výzkumy zabývající se vývojem nových produktů, výzkumem a vývojem investičního hodnocení, výrobních prostor a staveb, hodnocení léčiv a lékařských technologií, ale také problémy s energií a životním prostředím (Huang, 1995). Podle povahy rozhodovacího problému můžeme dělit metody rozhodování na jedno-kritériální a vícekritériální. Podle

realizace postupů pak na rozhodování bez systémové podpory informačních technologií a na systémy pro podporu rozhodování. Jedno-kriteriální metody se využívají pro hodnocení dostupných alternativ s nejistými dopady v rámci jediné situace. Klasickým přístupem je metoda rozhodovacího stromu. Jiným přístupem jsou pak diagramy vlivu, které poskytují jednodušší reprezentaci problematiky rozhodování oproti klasickým rozhodovacím stromům (Zhou, 2006). Vícekriteriální metody se zabývají problémy, jak vybrat jednu či více variant z množiny akceptovaných variant a následně ji doporučí. Rozhodovatel musí v tomto případě postupovat obezřetně a objektivně. K tomu slouží aparáty odlišných postupů a metod analýzy jednotlivých variant. (Šubrt, 2011)

3. ZVOLENÉ TECHNIKY A METODY DISERTAČNÍ PRÁCE

Při zpracování disertační práce, bylo nutné splnit kritéria vycházející z volby metod, jmenovitě se jedná o:

- dosažení stanovených cílů disertační práce,
- použití správné a prověřené metodologie,
- efektivní využití zvolených metod.

Díky zázemí fakulty podnikatelské a její dlouhé tradici v používání fuzzy expertního systému bylo umožněno aplikování fuzzy logiky na řešený problém. Tento fuzzy expertní systém byl testován na řešení širokého spektra problémů za posledních asi 30 let. Expertní systém byl přijímán odborníky z nejrůznějších oborů hlavně proto, že je jednoduchý a tím i snadno pochopitelný, viz například publikace (Dohnal, 1992, Stupka, 1991, Vaija, 1986, Dohnal, 1985, Turunen, 1984). Autorem v disertaci použitého expertního systému je prof. Ing. Mirko Dohnal, DrSc. V průběhu let se však program dále vyvíjel společně s dalšími experty.

3.1 Fuzzy logika

Pomocí fuzzy logiky lze určit, jak moc prvek do fuzzy množiny patří nebo nepatří. Tato příslušnost k množině je v rozmezí mezi nulou a jedničkou. Nula znamená, že prvek do množiny zcela nepatří a naopak jednička, že prvek do množiny zcela patří. Při praktické tvorbě systému s fuzzy logikou většinou k popisu konkrétního případu potřebujeme několik vstupních proměnných, z nichž každé mají určitý počet atributů. To samé platí i pro výstupní proměnné. Optimální počet proměnných je potřeba volit individuálně dle potřeb řešeného problému (Rais, 2007). Řešený problém není možné popsat jen černobíle, jinak bychom jej mohli popsat jen jedničkou a nulou. Fuzzy matematika je obecnější a tím i silnější formální nástroj. Nicméně úkolem této disertační práce není její exaktní popis. Bude se proto soustředit pouze na základní pojem, kterým je stupeň příslušnosti, viz obrázek (1) a vztah znalostní báze a expertního systému, viz obrázek (2), kdy expertní systém pracuje při dotazu na výsledek se znalostní bází. Výraz logika představuje pravidla typu <Když> <A>, <Potom> , atd., na základě kterých systém s fuzzy logikou pracuje (Zadeh, 1973). Pokud prvek do množiny buď patří nebo nepatří hovoříme o množinách ostrých. Označíme-li A podmnožinou množiny U, potom libovolný prvek x množiny U do množiny A patří nebo nepatří. Tato skutečnost lze vyjádřit pomocí dvouhodnotové funkce:

$$\mu_A(x) = 1 \text{ když a pouze když } x \in A$$

$$\mu_A(x) = 0 \text{ když a pouze když } x \notin A$$

Hodnota funkce $\mu_A(x)$ pro zvolené x se nazývá stupněm příslušnosti prvku x k množině A. Pokud míra příslušnosti prvku k množině nabývá hodnot z intervalu od 0 do 1, potom takové množiny nazýváme množiny neostré, neboli fuzzy množiny. (Novák, 2003)

Každá jazyková proměnná je transformována do fuzzy množiny s určitou funkcí příslušnosti. Například verbální hodnota A5 Rezidenční a menší komerční instalace je zobrazena fuzzy číslem s funkcí příslušnosti uvedené na obrázku (1). Velikost jazykové proměnné A5 se pohybuje běžně v rozmezí 10 kW až 20 kW se stupněm příslušnosti roven 1.

$$\mu_{A5}(x) = 1 \quad \text{když a pouze když } b < A5 < c$$

Avšak hodnota jazykové proměnné může mít nižší stupeň příslušnosti pro $a < b$ a $c < d$ a tedy od 3 kW do 10 kW a od 20 kW do 40 kW, kde v krajních mezích **a** a **d** je stupeň příslušnosti roven 0. Jednoduše lze tedy fuzzy množinu A5 popsat pomocí parametrů $a = 3$, $b = 10$, $c = 20$, $d = 40$.

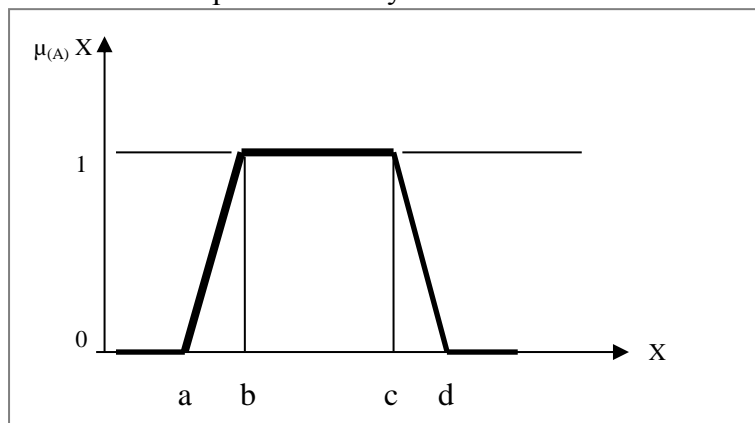
$$\mu_{A5}(x) = 1 \quad \text{když a pouze když } b < A5 < c$$

$$\mu_{A5}(x) = \epsilon < 0, 1 > \quad \text{když a pouze když } a < A5 < b, c < A5 < d$$

kde $\mu_{A5}(x)$ je funkce příslušnosti jazykové proměnné A do fuzzy množiny A5.

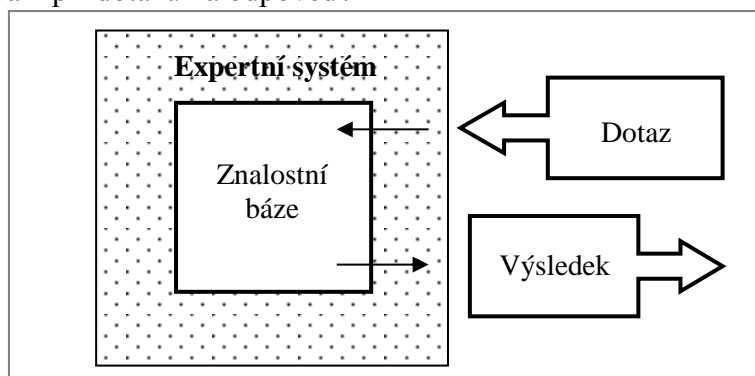
Zde použité čtyři body a, b, c, d , (nebo případně tři body $a, b=c, d$) určují celou funkci příslušnosti. Výhodou je především to, že i člověk, který nemá zkušenosti s fuzzy množinami je schopen zpracovat vágní popisy pomocí potřebné čtveřice (trojice) bodů charakterizující fuzzy množiny.

Obrázek 1: Trapezoidní fuzzy číslo.



Zdroj: vlastní zpracování.

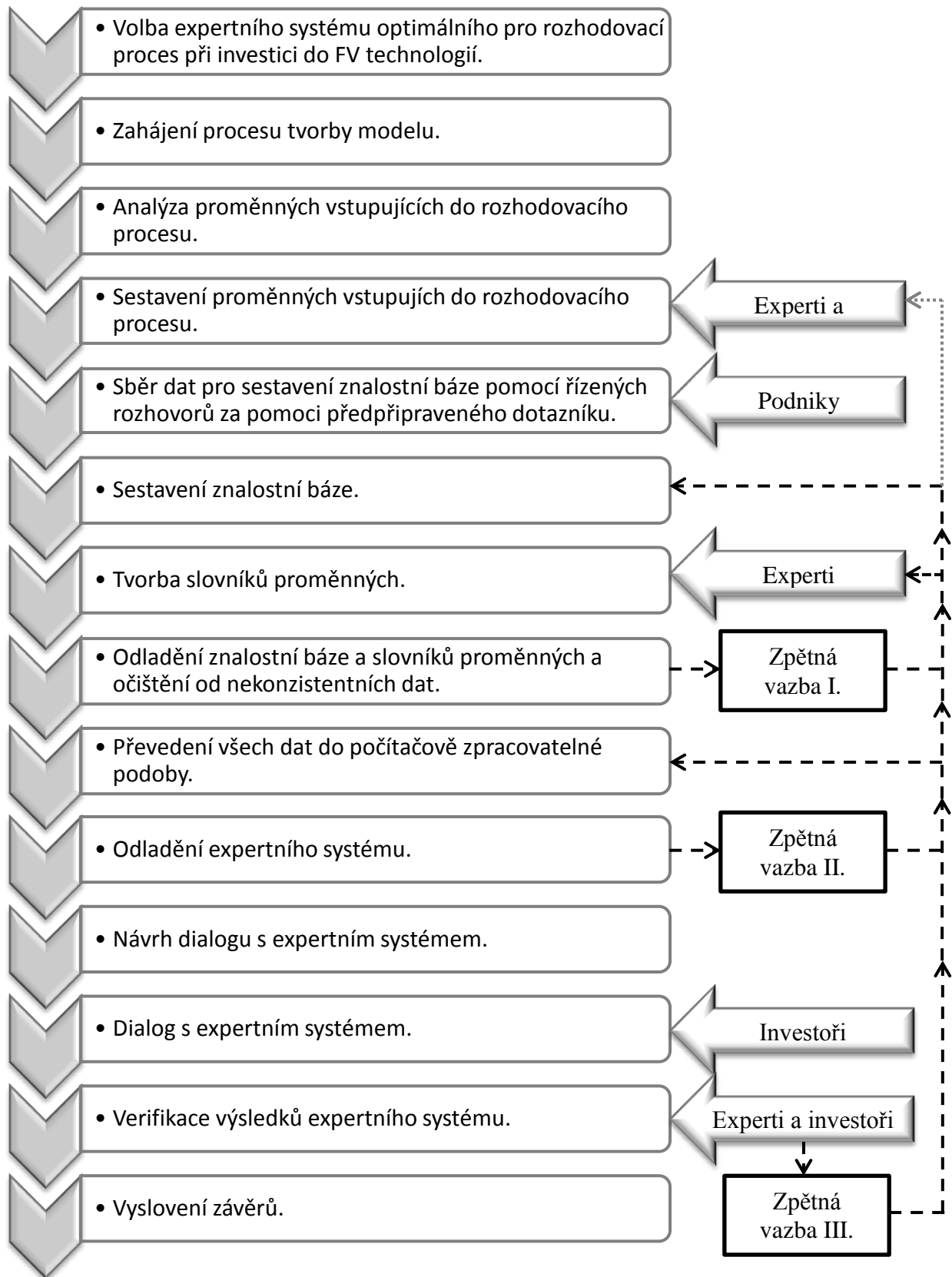
Obrázek 2: Schéma situace mezi expertním systémem a znalostní bází při dotazu na odpověď.



Zdroj: vlastní zpracování.

3.2 Proces tvorby modelu

Schéma: Proces tvorby modelu.



Zdroj: vlastní zpracování.

3.3 Popis činnosti fuzzy expertního systému

Dotazy jsou expertnímu systému zadávány ve fuzzy dotazech, kde v tomto případě byly využity fuzzy množiny ve tvaru trojúhelníku. Je možné zadávat dotazy také ve tvaru trapezoidu, avšak při daném použití se zadávání dotazu ve tvaru trojúhelníku projevilo jako snadněji použitelné pro spolupracující investory. Při dotazu zadává investor vždy několik známých proměnných a hledanou proměnnou, která má být expertním systémem zodpovězena. Hledanou proměnnou označujeme zde jako závisle proměnnou (Z). Pro představu využijeme zjednodušeného modelu.

$$Z = f(A, B)$$

kde A a B jsou proměnné (běžně se můžete setkat také s označením X_1, X_2).

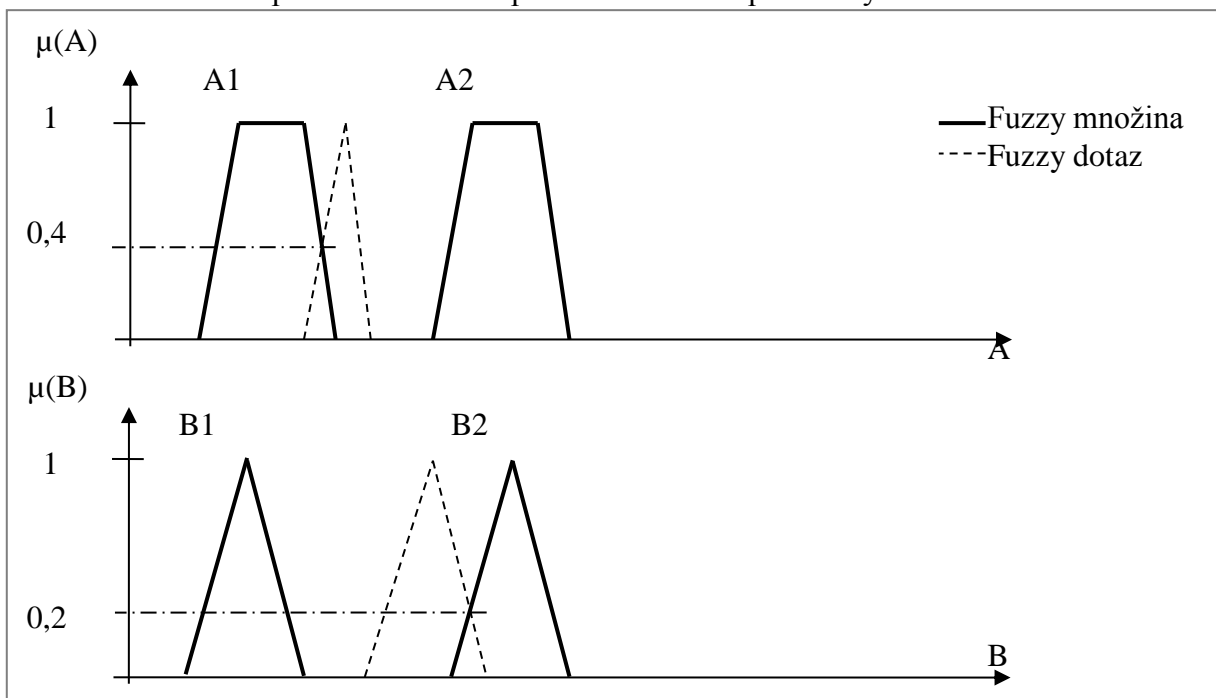
Expertní systém po položeném dotazu provádí porovnání dotazu se znalostní bází a hledá podobnost s podle vztahu (1) s jednotlivými prohlášeními uvedenými ve znalostní bází.

$$s(n, V, W) = \min \left\{ \max_{1 \leq j \leq n} \left[\min_{X_j} (\mu_{V_j}(X_j), \mu_{W_j}(X_j)) \right] \right\} \quad (1)$$

kde $\max \{ \min [\mu_{V_j}(X_j), \mu_{W_j}(X_j)] \}$ reprezentuje fuzzy průnik dvou jednodimenzionálních fuzzy množin $V_j \cap W_j$.

Expertní systém vychází z definice vícedimenzionální podobnosti $s_{-}(1)$. Tato podobnost je brána jako minimální hodnota ze všech jednodimenzionálních podobností. V prvním příkladu na obrázku (3) zadáváme dotaz na nezávisle proměnné (A) a (B), kde A1 a B1 je prohlášení 1 a A2 a B2 je prohlášení 2. Po zadání fuzzy dotazu znázorněného čárkovaně, expertní systém vyhodnotí, že fuzzy dotaz není podobný prvnímu prohlášení 1 (shoda s A1 se stupněm příslušnosti 0,4 a shoda s B1 se stupněm příslušnosti 0), viz rovnice podobnosti $s_{-}(1)$ v předchozí kapitole. Podobně se dotaz nepodobá ani druhému prohlášení (A2, B2).

Obrázek 3: Příklad prvního dotazu na prohlášení o dvou proměnných A a B.

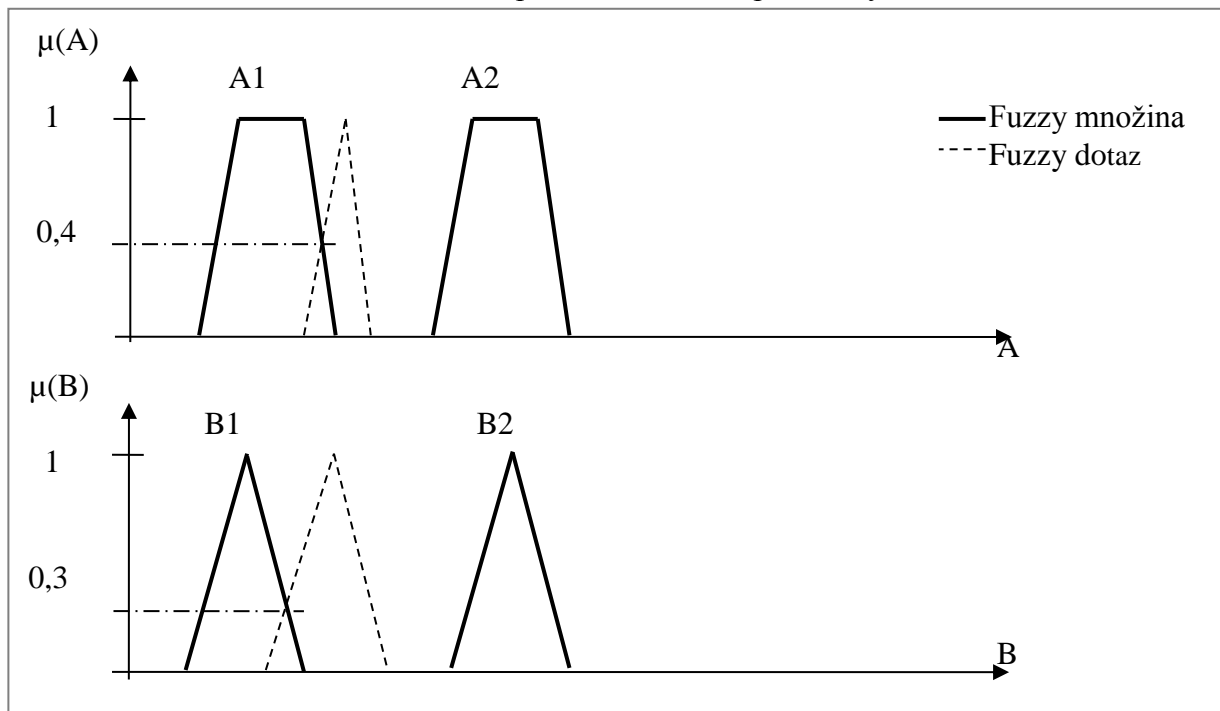


Zdroj: vlastní zpracování.

V případě, kdy se ani jedno prohlášení nepodobá fuzzy dotazu, expertní systém automaticky použije funkci roztažení fuzzy dotazu. V této disertaci jsem použil roztažení 20 %, které vychází ze zkušeností práce s expertním systémem. V případě, že ani po roztažení expertní systém nenalezne žádnou podobnost s nějakým prohlášením, opakuje znovu roztažení fuzzy dotazu o 20 %. V disertaci jsem použil počet roztažení maximálně desetkrát. V případě, že ani po desátém roztažení expertní systém nenalezne žádnou podobnost, potom odpoví „NEVÍM“.

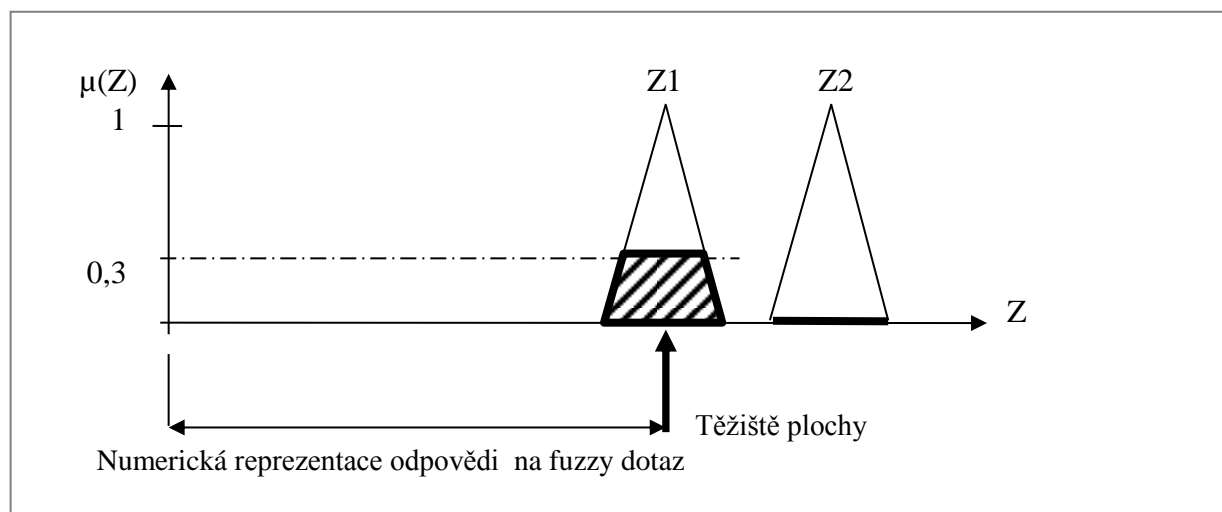
Ve druhém příkladu se fuzzy dotaz podobá prvnímu prohlášení na úrovni $s = 0,3$, viz obrázek (5). V tomto případě se fuzzy množina závisle proměnné Z1 prohlášení (1) ořízne na odpovídající podobnost $s = 0,3$. Numerická reprezentace odpovědi expertního systému je potom vzdálenost těžiště plochy oříznuté fuzzy množiny od počátku souřadnic, viz obr. (6).

Obrázek 5: Příklad druhého dotazu na prohlášení o dvou proměnných A a B.



Zdroj: vlastní zpracování.

Obrázek 6: Numerická reprezentace odpovědi expertního systému druhého příkladu.



Zdroj: vlastní zpracování.

4. SESTAVENÍ ZNALOSTNÍ BÁZE A DIALOG

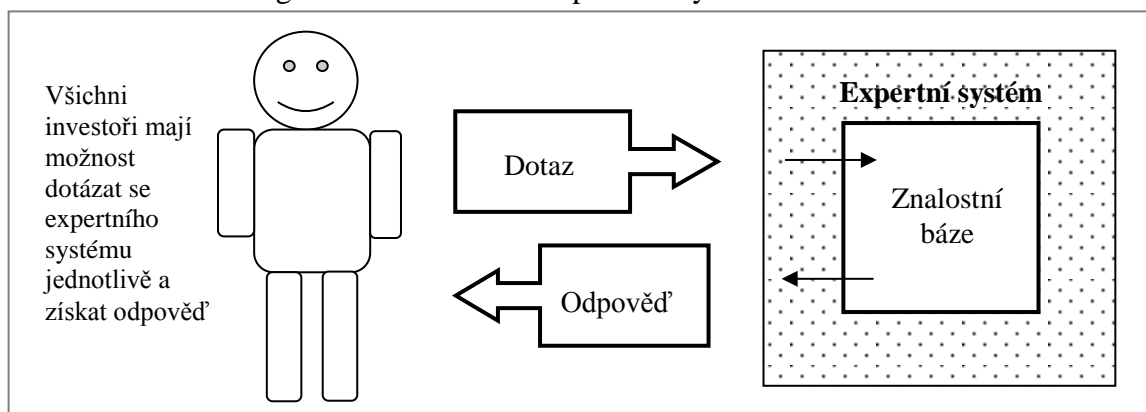
V ideálním světě by se každý investor mohl při své investici dotázat na všechny vstupující proměnné „super experta“ z oboru, který by mu podal přesné informace a snížil tak riziko jeho rozhodnutí. Bohužel v reálném světě nemá investor vždy možnost dotázat se právě „super experta“ a je závislý na informacích získaných od ne vždy kompetentních zdrojů. Názorně můžeme použít příkladu chirurga, kdy pacient má vždy zájem, aby jej operoval „super chirurg“. „Super chirurg“, má však omezenou pracovní dobu. I kdyby chtěl, nemůže pracovat více než 16 hodin denně a tedy může operovat pouze omezené množství pacientů. Ostatní pacienti tedy nemají jinou možnost než jít k jinému chirurgovi, kde se však riziko neúspěchu operace zvyšuje. Z této situace se zrodila myšlenka nahradit „super experta“ pomocí expertního systému využívajícího počítačové zpracování znalostní báze vytvořené odborníkem (nebo více odborníky) z oboru, s cílem zvýšit hodnotu podaných informací z dotazů investora bez nutnosti využití „super experta“. Situace je jednoduše znázorněn na obrázku (7) a (8).

Obrázek 7: Dialog mezi investorem a „super expertem“.



Zdroj: vlastní zpracování.

Obrázek 8: Dialog mezi investorem a expertním systémem.



Zdroj: vlastní zpracování.

Ke sběru dat pro sestavení znalostní báze přispělo 24 podniků z řad výrobců, investorů, dodavatelů technologických celků, instalačních firem a distributorů. Sběr dat probíhal řízenými osobními a telefonickými rozhovory a pomocí „direct mailingu“.

Všechny na výzkumu se podílející subjekty odpovídali na dotazy anonymně, a tedy neměli důvod podávat nepravdivé informace. Avšak i přesto lze očekávat určitý rozptyl v pravdivosti odpovědí u tří dotazovaných proměnných: EPC projektové náklady, bankovní úroková sazba a očekávaná návratnost investice. Z rozhovorů bylo citelné, že v těchto případech většina subjektů záměrně mírně upravila skutečné hodnoty, vzhledem k citlivosti dat. Tyto tři zmíněné hodnoty byly však pouze navýšeny, a tedy na výsledky modelu nemají negativní vliv (mírné navýšení plyne z udržení osobního know-how, jak všichni potvrdili). Zvýšení

některých hodnot ve znalostní bázi může způsobit pouze zvýšení hodnot výsledků odpovědí. Pokud tedy dojde například k navýšení hodnoty návratnosti, výsledky vygenerované expertním systémem ze znalostní báze budou také vyšší, a tedy nebudou zvyšovat riziko. Například pokud je vygenerovaná návratnost vyšší než by měla být a přitom lze projekt ze získaných odpovědí investorovi doporučit, skutečný výsledek může být pouze stejný nebo lepší. To samé platí i u ostatních dvou zmíněných proměnných. Avšak pokud je to možné, je potřeba tato zašuměná data očistit, jak tomu bylo učiněno telefonními a osobními rozhovory následujícími po sestavení a komparaci nasbíraných dat.

4.1 Množina podmíněných výrazů

Po definici proměnných a návrhu slovníků následuje sestavení kompletní množiny prohlášení popisujících jednotlivé získané projekty, které byly sestaveny do následující tabulky (1), která zobrazuje prvních deset prohlášení.

Tabulka 1: Prvních 10 prohlášení znalostní báze.

Č.p.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Váha
1	A4	B4	C4	D9	E3	F4	G5	H3	I4	J5	K8	L2	M5	N2	O4	P6	Q6	R3	S6	T6	U4	V5	W6	X8	1
2	A4	B4	C4	D9	E3	F4	G5	H3	I4	J6	K8	L2	M5	N2	O4	P6	Q6	R3	S6	T6	U4	V5	W6	X8	1
3	A3	B3	C3	D9	E4	F4	G5	H3	I4	J6	K8	L2	M5	N2	O4	P5	Q6	R3	S6	T6	U4	V5	W5	X8	1
4	A4	B4	C4	D6	E5	F4	G5	H3	I6	J6	K8	L2	M5	N2	O4	P6	Q6	R3	S6	T6	U4	V5	W6	X8	1
5	A5	B4	C3	D6	E5	F4	G5	H3	I7	J7	K8	L2	M5	N6	O4	P5	Q6	R3	S6	T6	U4	V5	W5	X8	1
6	A3	B4	C4	D5	E2	F4	G3	H3	I4	J6	K5	L3	M6	N3	O4	P6	Q4	R2	S6	T7	U2	V5	W6	X6	1
7	A4	B5	C4	D6	E5	F4	G3	H2	I6	J7	K4	L4	M5	N3	O2	P7	Q5	R2	S3	T8	U4	V5	W6	X5	0.8
8	A3	B3	C3	D6	E3	F4	G4	H2	I4	J6	K4	L4	M5	N2	O2	P7	Q5	R2	S3	T8	U3	V6	W5	X5	0.9
9	A3	B2	C2	D6	E3	F4	G4	H2	I4	J6	K4	L6	M5	N2	O2	P1	Q5	R2	S3	T7	U3	V5	W4	X5	0.9
10	A4	B2	C2	D6	E3	F4	G4	H2	I5	J6	K4	L6	M5	N2	O2	P1	Q5	R2	S3	T7	U3	V5	W4	X5	0.7

Zdroj: vlastní zpracování.

Pro uvedení do následující problematiky a práce s expertním systémem si musíme uvědomit, že investice do fotovoltaických technologií při neustále se měnícím investičním prostředí a mnoha proměnných ovlivňujících celkový projekt se bude vyznačovat nižším stupněm příslušnosti (podobnosti) vzhledem k počtu projektů uvedených ve znalostní bázi. Už jen fakt, že znalostní báze sestává z 16 států způsobuje, že není možné vystihnout plně všechny možnosti ve 187 získaných prohlášeních. Respektive, ne za předpokladu, že prohlášení popisují realizaci investic za posledních 7 let, kdy se jednotlivé legislativy měnily. Jednoduchým výpočtem bychom zjistili, že při změně legislativy jednou ročně v každé zemi máme průměrně k dispozici znalostní bázi s 1,67 projekty na stát v daném roce. Je tedy nutné si uvědomit, že stupně příslušnosti budou nižší než bychom mohli zprvu očekávat.

4.2 Definice proměnných a sestavení slovníků

Nezbytnou součástí je vypracování množiny proměnných, které ohodnotí každé prohlášení (v našem případě projekt) z hlediska vybraných kritérií s použitím předem navržených slovníků. V tabulce (2) je soupis a rozdělení všech vybraných proměnných pečlivě sestavených při výzkumu společně s odborníky z oboru. Proměnné zde mají také svůj název a pořadové číslo. Pořadové číslo je vhodné použít především ke snadnější orientaci

v množství dat nejen při sestavování jednotlivých slovníků, ale také k pozdějšímu použití při sestavování dotazů pro expertní systém.

Tabulka 2: Proměnné a jejich názvy.

	Proměnná	Název	Číslo
Výkon	Výkon na střídavé straně (kW)	A	1
Náklady	EPC projektové náklady (EUR/kW)	B	2
	Náklady fotovoltaických panelů (EUR /Wp)	C	3
	Náklady FV měničů (EUR /W)	D	4
	Náklady vysokonapěťového rozvaděče (EUR /W)	E	5
	Náklady sduřovacích skříní (EUR /kW)	F	6
	Náklady montážního systému (EUR /kW)	G	7
	Náklady projektové dokumentace (procento z ceny projektu)	H	8
	Doba výstavby (týden)	I	9
	Náklady na pořízení půdy (EUR /ha)	J	10
Prostředí	Průměrný sluneční osvit (průměr kWh/m ² /rok)	K	11
Legislativa	Výkupní tarif (EUR /kWh)	L	12
	Doba trvání výkupního tarifu (rok)	M	13
	Doba pro zpracování projektové dokumentace a získání povolení (měsíc)	N	14
	Míra tržních bariér (-)	O	15
Investiční prostředí	HDP na osobu (USD)	P	16
	Bankovní úroková sazba (%)	Q	17
	Úroveň místní vybavenosti (-)	R	18
	Importní clo (%)	S	19
	Průměrná cena elektrické energie pro spotřebitele (EUR /kWh)	T	20
	Počet nutných povolení (-)	U	21
Bod zvratu	Očekávaná návratnost investice (rok)	V	22
Rok	Rok dokončení projektu (-)	W	23
Stát	Stát realizace projektu (-)	X	24

Zdroj: vlastní zpracování.

Název proměnné: B

Popis proměnné: EPC projektové náklady (EUR/kW)

EPC projektové náklady představují předběžné náklady v předprojektovní fázi na instalaci jedné kilowatty vyjádřené poměrem EUR na Kilowatt. Tato proměnná je běžně používaná také v praxi pro vyjádření předběžných nákladů od dodavatele pro investora. Slouží také jako srovnávací základna mezi jednotlivými dodavateli a vyjadřují jejich předběžné náklady na

investici v předprojektční fázi. Tyto náklady sestávají z mnoha vstupů, mezi které patří například náklady na: FV panely, FV měniče, konstrukce, práce, další materiál, připojení do sítě, vysokonapěťové prvky, spuštění elektrárny, základní servis během záruční doby a další, avšak neobsahuje náklady na pořízení půdy nebo střechy a neobsahuje náklady na bankovní úvěr investora. Náklady se vyvíjí s trhem a v jednotlivých letech se mohou měnit stejně jako se mohou lišit v jednotlivých zemích. Dlouhodobě má tato proměnná klesající tendenci nejen díky rostoucímu konkurenčnímu prostředí, ale především díky neustálému snižování nákladů fotovoltaických technologií. Cenové rozpětí pro rok 2015 nebylo vzhledem k době zpracování této disertační práce k dispozici. Znalostní báze však obsahuje několik případů, které se zrovna kalkulovaly a poskytly odhadované náklady.

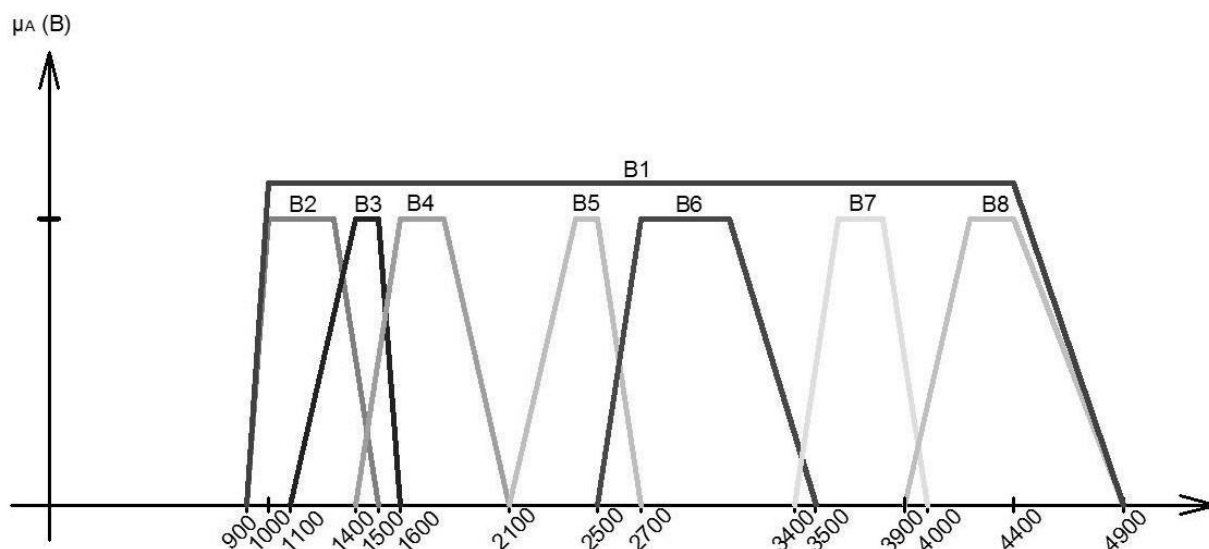
Hodnoty zvolené pro proměnou B:

- B8 Průměrné cenové rozpětí v roce 2008
- B7 Průměrné cenové rozpětí v roce 2009
- B6 Průměrné cenové rozpětí v roce 2010
- B5 Průměrné cenové rozpětí v roce 2011
- B4 Průměrné cenové rozpětí v roce 2012
- B3 Průměrné cenové rozpětí v roce 2013
- B2 Průměrné cenové rozpětí v roce 2014
- B1 Neznalost

Tabulka 4: Parametry jednotlivých fuzzy hodnot slovníku B.

B	a	b	c	d
B8	3900	4200	4400	4900
B7	3400	3600	3800	4000
B6	2500	2700	3100	3500
B5	2100	2400	2500	2700
B4	1400	1600	1800	2100
B3	1100	1400	1500	1600
B2	900	1000	1300	1500
B1	900	1000	4400	4900

Graf: Grafické zobrazení slovníku B.



Zdroj: Vlastní zpracování.

4.3 Váhy proměnných

Váhy proměnných slouží pro určení důležitosti jednotlivých proměnných. Váhy se volí mezi 0 a 1, kde proměnná s váhou 1 má nejvyšší důležitost. Jednotlivé velikosti vah proměnných byly voleny dle toho, jakou důležitost hrají při procesu rozhodování. Můžeme vidět, že proměnné typu velikost projektu nebo náklady na projekt jsou z hlediska rozhodování o investici velmi důležité. Zatímco váha u proměnné HDP na osobu (P) má poměrně nízkou váhu. Tyto váhy byly sestaveny společně s experty z oboru a byly konzultovány s investory.

Tabulka 5: Zvolené váhy proměnných.

Proměnná	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Váha	1	1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,7	0,6	0,3	0,6	1	1
Proměnná	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Váha	1	0,3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,8	0,2	1	0,6	0,6

Zdroj: vlastní zpracování

4.4 Odlad'ování

Odlad'ování je nedílnou součástí celého procesu. Z výsledků prvních dotazů na jednotlivé proměnné bylo nutné nalezení a odstranění chyb vytvořených při sestavování znalostní báze a slovníků. Kdykoliv se výpočet expertního systému někde zastavil, bylo nutné zkontrolovat jak zadání dotazů, tak také slovníky proměnných s ohledem na znalostní bázi. Pokud byla nalezena jakákoliv chyba, byla metodou zpětné vazby kontrolována také znalostní báze u dané proměnné, zdali jsou všechny hodnoty v rozmezí definovaných slovníků. Pokud některá z hodnot byla přesažena, muselo se jít zpět na návrh slovníku a předefinovat jeho rozmezí tak, aby dokázal popsat všechna prohlášení zpracovaná ve znalostní bázi. Odlad'ováním se odstranily všechny chyby způsobené při zpracování velmi objemného množství dat a bylo možno přejít k dialogu se znalostní bází a ověření výsledků.

4.5 Práce se znalostní bází

Investor se může dotázat na jeden či více konkrétních dotazů, nebo může mít celou posloupnost dotazů nazývanou dialog. Dialog umožňuje interakci mezi rozhodovatelem, expertním systémem a sestavenou znalostní bází. Myšlenka dialogu je jedinečnou možností podpořit investorovo rozhodování nejen pro jeden konkrétní dotaz jako je například návratnost, nýbrž se může vést kontinuální dialog vedoucí ke zpřesnění výsledků odpovědí. Například, bude-li se investor dotazovat na návratnost projektu jako jeden dotaz, odpověď bude ovlivněna rozsahem znalostí investora, neboť musí zadat určitý rozsah fuzzy dotazů jako je například: EPC projektové náklady, výkupní tarif, sluneční osvit. Pokud tedy jeho znalosti v předprojektční fázi ohledně výše zmíněných proměnných nebudou dostatečné, může snadno získat odpověď, která se bude procentuálně lišit od přesnější výsledné odpovědi při dialogu. Máme zde situaci, kdy investor povede dialog s expertním systémem využívající znalostní báze. Nejdříve se dotáže na odpověď EPC projektové náklady. Výše uvedenou odpověď poté použije k získání výsledku o výši výkupního tarifu. Poté z těchto dvou odpovědí se konečně dotáže na návratnost projektu, která je v tomto případě proměnnou, kterou chtěl investor nalézt. Dále se může z těchto odpovědí dotazovat například na stát, kde by se měla investice realizovat, aby dosáhl požadované návratnosti. Vycházíme také z toho, že investor chce použít bankovní úvěr, kde bankou požadovaná návratnost je 10 let. Pro úplnost je zde uveden i příklad, kdy investor nesouhlasí s odpovědí a během dialogu ji upraví dle svých aktuálních

znalostí, aby získal požadovanou hodnotu návratnosti. Následující kapitoly rozeberou celou tuto situaci na pěti reálně zamýšlených projektech o stanovené velikosti 30 kW, 500 kW, 1 500 kW, 5 000 kW a 10 000 kW. Pro představu se jedná o investice v řádech 50 tis. EUR, 800 tis. EUR, 2 mil EUR, 7 mil EUR a 15 mil EUR. Nejde tedy o zanedbatelné investice, které lze realizovat bez důkladné analýzy. Odpovědi pro všech těchto pět projektů byly podrobeny srovnání mezi zadáváním dotazů od dvou odlišných investorů spolupracujících na výzkumu. Jeden z nich má mnohé zkušenosti ze zemí západní i východní Evropy (dále jen zkušený investor) a druhý je málo zkušený investor z Rumunska (dále jen začátečník) v oboru investice do fotovoltaických technologií. Celé zadání vychází z reálné situace, kdy zkušeným investorem je v tomto případě podnik, který pravidelně investuje do FV technologií a pro svoje zákazníky realizuje stavby FV projektů. Začátečník je zde podnik zamýšlející investici do FV technologie s cílem diverzifikovat portfolio svých investic. Začátečník plánuje především investici okolo 800 tis. EUR, ale má zájem o srovnání s větší investicí, pro získání většího přehledu před rozhodnutím o investici. Začátečník nemá zkušenosti s náklady u tohoto typu investice a většinu proměnných při výzkumu odhaduje z dosud získaných informací dostupných na trhu.

4.6 Základní popis projektů

Bylo vybráno pět různě velkých projektů, aby bylo možno ověřit znalostní bázi v celém jejím průřezu. Jediným vynechaným bude projekt mikro instalace o velikosti do 3,6 kW, neboť náklady se v dnešní době pohybují do 7 tis. EUR a s největší pravděpodobností by žádný takto malý investor počítačovou podporu při rozhodování nepoužil.

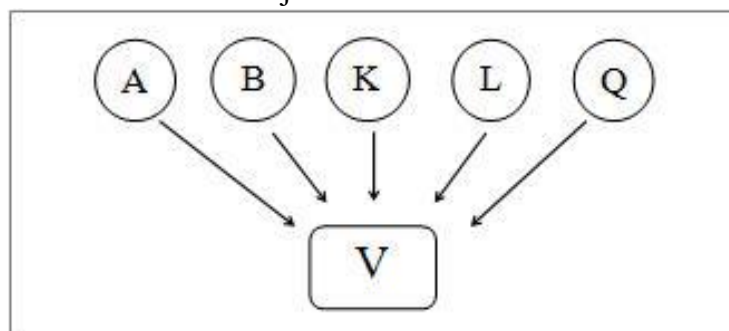
Testované projekty mají následující definici velikosti určené výkonem v kW:

- 1) 30 kW – střešní instalace na menším výrobním podniku,
- 2) 500 kW – střešní instalace na velkém výrobním podniku,
- 3) 1 500 kW – instalace na volné ploše středně velká,
- 4) 5 000 kW – instalace na volné ploše velká,
- 5) 10 000 kW – instalace na volné ploše „Utility Scale“.

4.7 Jednorázový dotaz na znalostní bázi

Má-li investor k dispozici většinu potřebných informací, které mají dobrou vypovídací schopnost a jsou založeny na aktuálních podmínkách, může se investor dotázat na jeden konkrétní dotaz, jak je znázorněno na obrázku (9). V tomto případě jej bude zajímat návratnost investice, a tedy proměnná číslo 22 s označením V. Dotaz je položen na některé investorovi známé proměnné a jednu závisle proměnnou uvedené v tabulce (6), kde tabulka (6) reprezentuje dotaz investora.

Obrázek 9: Schéma jednorázového dotazu.



Zdroj: Vlastní zpracování.

Tabulka 6: Dotaz na návratnost (V).

Proměnná	Projekt 30 kW			Projekt 500 kW			Projekt 1 500 kW			Projekt 5 000 kW			Projekt 10 000 kW		
	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d
A	15	30	40	300	500	700	1000	1500	2000	3000	5000	7000	8000	10000	15000
B	1200	1600	2400	1200	1600	2300	1000	1500	2300	1100	1400	2100	1200	1600	2400
K	850	1000	1200	1000	1150	1400	1000	1150	1450	1000	1150	1450	900	1200	1500
L	0.11	0.25	0.35	0.11	0.25	0.35	0.11	0.25	0.35	0.11	0.25	0.35	0.11	0.25	0.35
Q	4	8	12	4	8	14	4	8	14	4	8	14	4	8	14
V	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z

Zdroj: Vlastní zpracování.

Tabulka 7: Výsledná návratnost po dotazu od investora.

Projekt (kW)	Výsledná návratnost (rok)	Stupeň příslušnosti	Proměnná	Číslo proměnné
30 kW	10.13	0.06	V	22
500 kW	10.45	0.22		
1 500 kW	11.62	0.32		
5 000 kW	11.62	0.32		
10 000 kW	10.46	0.23		

Zdroj: Vlastní zpracování.

Diskuze výsledku:

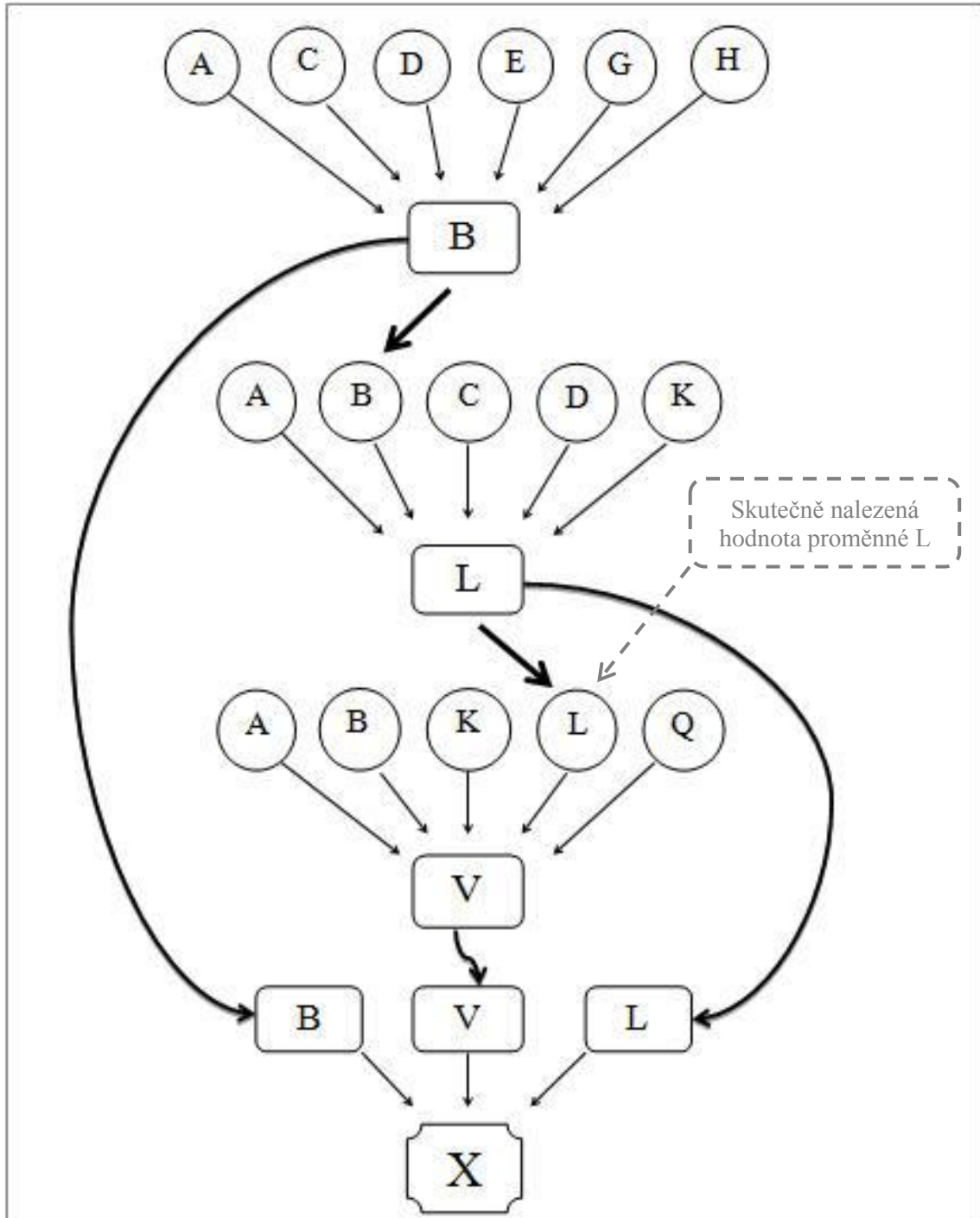
Investor se na položený dotaz dozví, jaká je výsledná návratnost všech pěti projektů a stupeň příslušnosti. Dosažený výsledek je zde uspokojivý, avšak jak bude vidět v následující kapitole, při použití dialogu lze tento výsledek ještě zpřesnit i přes fakt, že dotaz byl položen zkušeným investorem. Žádný projekt zde nespĺňuje podmínku návratnosti do 10 let požadované bankou.

4.8 Dialog se znalostní bází

Dialog vedený mezi investorem a znalostní bází napomáhá ke zpřesnění výsledných odpovědí. Investor při něm může získat důležité informace při rozhodování v předprojektční fázi a omezit tak případná rizika. Mezivýsledky také může použít při dalších dotazech a zpřesnit tak výstupní odpovědi. Grafické vyjádření průběhu použitého dialogu můžete vidět na názorném obrázku (10). Dialog probíhá níže na dotaz pro všech pět projektů.

Schéma popisuje reálnou situaci, kdy investor chce zjistit ze znalostní báze pomocí expertního systému návratnost své zamýšlené investice. V tomto případě povede se znalostní bází dialog. V popisovaném případě se v předprojektční fázi dotazuje nejprve na pravděpodobné EPC projektové náklady, vyjádřené zde jako proměnná (B). K jejich zjištění zadává dotaz na proměnné, které jsou investorovi předem známé, nebo si to alespoň myslí. V našem případě investor zná velikost projektu (A), náklady na FV panely (C), náklady na FV měniče (D), náklady na vysokonapěťový rozvaděč (E), náklady na montážní systém (G) a předběžnou cenu projektové dokumentace (H). Ze získaného výsledku, chce dále určit pravděpodobný nejnižší výkupní tarif, nezbytný pro realizaci projektu při daných nákladech na investici.

Obrázek 10: Schéma průběhu dialogu.



Zdroj: Vlastní zpracování.

V druhém kroku se tedy dotazuje znalostní báze na výši výkupního tarifu (L), pomocí známých proměnných. Známé proměnné, jsou v tomto případě velikost projektu (A), EPC projektové náklady (B), náklady na FV panely (C), náklady na FV měniče (D), a průměrný sluneční osvit (K). Ze získané odpovědi pokračuje v dialogu a dostává se k hledané proměnné, kterou je návratnost (V). Pro získání odpovědi, investor zadává dotaz obsahující proměnné: velikost projektu (A), EPC projektové náklady (B), průměrný sluneční osvit (K), získanou hodnotu výkupního tarifu z předešlého výsledku (L) a předběžnou výši bankovního úvěru (Q). Z těchto dotazů získá odpověď na dotaz návratnost (V).

Dále může pokračovat v dotazování na jakoukoliv proměnnou obsaženou ve znalostní bázi. V našem případě se investor rozhodl, položit dotaz na určení optimálního státu, kde by se

investice měla zrealizovat. A tedy položí dotaz na určení státu realizace investice (X), za použití získaných výsledků EPC projektové náklady (B), výše výkupního tarifu (L) a návratnosti (V). Expertní systém potom vyhodnotí výsledky s nejvyšším stupněm příslušnosti obsažené ve znalostní bázi.

Samozřejmě, pokud by jakýkoliv výsledek neodpovídal předpokládanému výsledku, je vhodné dialog rozšířit o další dotazy, které povedou ke zpřesnění výsledků. V prezentovaném dialogu je navíc vložen i jeden mezi krok, kdy investor si ověřuje výši výkupního tarifu (L), ale zároveň tuto proměnnou nahrazuje skutečnou známou hodnotou, aby si ověřil odchylku doby návratnosti. Tento krok je znázorněn v obrázku (6) jako čárkovaná bublina s textem „skutečně nalezená hodnota proměnné L“.

a) První dotaz dialogu: určení EPC projektových nákladů (EUR/kW)

V tomto případě dialog začíná dotazem na EPC projektové náklady.

Tabulka 8: Dotaz na EPC projektové náklady (B) od investora.

Proměnná	Projekt 30 kW			Projekt 500 kW			Projekt 1 500 kW			Projekt 5 000 kW			Projekt 10 000 kW		
	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	D	a	b=c	d
A	15	30	40	300	500	700	1000	1500	2000	3000	5000	7000	8000	10000	15000
C	0.58	0.65	0.75	0.58	0.62	0.72	0.56	0.6	0.68	0.52	0.6	0.68	0.52	0.6	0.65
D	0.11	0.13	0.16	0.1	0.12	0.15	0.1	0.12	0.14	0.09	0.12	0.14	0.06	0.1	0.13
E	0	0.004	0.008	0	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06
G	0.15	0.22	0.28	0.15	0.2	0.3	0.15	0.2	0.28	0.12	0.18	0.25	0.12	0.18	0.25
H	3	5	10	3	5	10	3	5	8	3	5	7	3	5	7
B	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z

Zdroj: Vlastní zpracování.

Tabulka 9: Výsledné EPC projektové náklady při dotazu od investora.

Projekt (kW)	Výsledné EPC projektové náklady (EUR/kW)	Stupeň příslušnosti	Proměnná	Číslo proměnné
30 kW	1566.88	0.47	B	2
500 kW	1729.31	0.50		
1 500 kW	1736.56	0.34		
5 000 kW	1552.99	0.40		
10 000 kW	1734.64	0.45		

Zdroj: Vlastní zpracování.

b) Druhý dotaz dialogu: určení výkupního tarifu (EUR/kWh)

Druhý dotaz dialogu byl zvolen pro upřesnění představy o výkupním tarifu (L), který sehrává jednu z hlavních rolí při hledané návratnosti. Otázka zde zní, jaký by měl být výkupní tarif při daných nákladech na projekt. Výkupní tarif samozřejmě může být dán legislativou, avšak v poslední době se prosazuje trend projektů, kdy vláda dá povolení k provozu těm investorům, kteří nabídnou nejnižší výkupní tarif, který je však většinou alespoň ohraničen nejmenším podáním. Investor opět klade dotaz, nyní však na výši výkupního tarifu. Poněvadž je v dialogu, v tomto okamžiku již použije zúžené rozmezí EPC projektových nákladů (B) ze získaných výsledků předchozího dotazu. Tím omezí dotaz a dosáhne tak přesnějšího

výsledku. Samozřejmě v případě, kdy by výsledek předešlého dotazu byl mimo rámec a investor by měl úplné informace o současných nákladech, potom by mohl při dalším dotazu upravit rozsah dotazu dle vlastních zkušeností nebo aktuálních informací. Konkrétní testované dotazy jsou uvedeny v tabulce (10).

Tabulka 10: Dotazy na výkupní tarif (L) od investora.

Proměnná	Projekt 30 kW			Projekt 500 kW			Projekt 1 500 kW			Projekt 5 000 kW			Projekt 10 000 kW		
	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d
A	15	30	40	300	500	700	1000	1500	2000	3000	5000	7000	8000	10000	15000
B	1300	1500	1800	1400	1600	2100	1400	1600	1900	1400	1600	1900	1400	1600	1900
C	0.58	0.65	0.75	0.58	0.62	0.72	0.56	0.6	0.68	0.52	0.6	0.68	0.52	0.6	0.65
D	0.11	0.13	0.16	0.1	0.12	0.15	0.1	0.12	0.14	0.09	0.12	0.14	0.06	0.1	0.13
K	850	1000	1200	1000	1150	1400	1000	1150	1450	1000	1150	1450	900	1200	1500
L	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z

Zdroj: Vlastní zpracování.

Tabulka 11: Výsledný výkupní tarif při dotazu od investora.

Projekt (kW)	Výsledný výkupní tarif (EUR/kWh)	Stupeň příslušnosti	Proměnná	Číslo proměnné
30 kW	0.15	0.28	L	12
500 kW	0.23	0.29		
1 500 kW	0.23	0.14		
5 000 kW	0.23	0.14		
10 000 kW	0.22	0.09		

Zdroj: Vlastní zpracování.

c) Třetí dotaz dialogu: Návratnost

Ve třetím dotazu se konečně dostáváme zpět k původnímu kýženému výsledku, který investora zajímal. Jeho výsledky můžeme později komparovat s výsledky obdržnými v kapitole 4.7.

V kapitole 4.7 investor zadával dotazy z jeho znalostí, avšak v dialogu má tři možnosti:

- může použít výsledky z předcházejících dotazů, které jsou podpořené znalostní bází (jako v předchozím dotazu b),
- může použít vlastní vstupní data, pokud je má k dispozici,
- třetí možností je kombinace obou, kdy může využít výsledků s předešlého dotazu a navíc je mírně upravit dle nových informací nebo v případě, že chce dotaz položit ve větším či menším rozmezí.

V disertaci byly provedeny dva dotazy, kdy jeden vychází ze získaných výsledků s mírnou úpravou rozsahu a jeden z nově získaných znalostí investora dle nově připravované legislativy, kdy investor se nově dozvídá výši výkupního tarifu. Zde je však uveden jen dotaz při použití výsledků předchozího dotazu.

Tabulka 12: Dotazy na návratnost (V) od investora.

Proměnná	Projekt 30 kW			Projekt 500 kW			Projekt 1 500 kW			Projekt 5 000 kW			Projekt 10 000 kW		
	a	b=c	d	a	b=c	D	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d
A	15	30	40	300	500	700	1000	1500	2000	3000	5000	7000	8000	10000	15000
B	1300	1500	1800	1400	1600	2100	1400	1600	1900	1400	1600	1900	1400	1600	1900
K	850	1000	1200	1000	1150	1400	1000	1150	1450	1000	1150	1450	900	1200	1500
L	0.12	0.15	0.18	0.2	0.23	0.28	0.2	0.23	0.29	0.2	0.23	0.29	0.19	0.22	0.25
Q	4	8	12	4	8	14	4	8	14	4	8	14	4	8	14
V	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z

Zdroj: Vlastní zpracování.

Výsledky třetího dotazu dialogu na návratnost (V) jsou uvedeny v tabulce (13).

Tabulka 13: Výsledná návratnost (V) při dotazu od investora.

Projekt (kW)	Výsledná návratnost (rok)	Stupeň příslušnosti	Proměnná	Číslo proměnné
30 kW	10.13	0.06	V	22
500 kW	8.99	0.36		
1 500 kW	10.34	0.17		
5 000 kW	10.34	0.17		
10 000 kW	8.87	0.25		

Zdroj: Vlastní zpracování.

Z výsledků můžeme investorovi doporučit, aby investoval do projektu 500 kW a 10 000kW, kdy oba tyto projekty splňují podmínku návratnosti do 10 let požadované bankou.

Tabulka 14: Odchylka návratnosti (V) při jednorázovém dotazu a dialogu.

Projekt (kW)	Jednorázový dotaz na návratnost (rok)	Dialog vedoucí na dotaz návratnost (rok)	Odchylka výsledku návratnost (%)
30 kW	10.13	10.13	0.00
500 kW	10.45	8.99	13.97
1 500 kW	11.62	10.34	11.02
5 000 kW	11.62	10.34	11.02
10 000 kW	10.46	8.87	15.20

Zdroj: Vlastní zpracování.

Diskuze výsledků:

Tabulka (14) zřetelně ukazuje, že při použití dialogu lze zpřesnit výsledky podporující investorovo rozhodování. Kromě projektu o výkonu 30 kW, došlo u všech zbylých projektů k prodloužení návratnosti při použití jednorázového dotazu vzhledem k neúplným a vágním informacím. Nepoužití dialogu pro investora v tomto případě nebude znamenat zvýšené riziko z hlediska prodloužení návratnosti, avšak v případě žádosti o bankovní úvěr může tento rozdíl znamenat významný rozdíl v posuzování banky, zdali dá investorovi úvěr či ne. U středně velkých projektů je tendence dosáhnout návratnosti do 9 let. U menších projektů se běžně dosahuje návratnosti 10 – 12 let. Z dialogu lze tedy vyvodit, že projekt 500 kW a 10 000 kW můžeme bez nejmenších pochybností doporučit investorovi jako vhodnou investici s velmi nízkou mírou rizika. Projekty 30 kW, 1 500 kW a 5 000 kW můžeme investorovi doporučit, avšak musí počítat s vyšší mírou rizika. Vzhledem k přesažení doby návratnosti stanové bankou na 10 let musí investor nalézt takové úspory v investici, aby dosáhl požadované návratnosti. Mějme na paměti, že znalostní báze neobsahuje explicitně vyjádřené servisní

náklady, které mohou přinášet určitou míru rizika. A tedy investor by měl nalézt úpory v takovém rozsahu, aby se návratnost snížila nejlépe na 9 let a byla tak vytvořena 10 % rezerva pro případné náklady plynoucí z neočekávaných servisních zásahů. Velikost rezervy samozřejmě závisí na míře rizika, kterou je investor ochoten přijmout. Investor také může přijmout vyšší míru rizika a zároveň se pojistit proti případným neočekávaným výpadkům výroby elektrické energie.

d) Čtvrtý dotaz dialogu: určení optimálního státu pro realizaci investice

Pokud je výsledek předchozího dialogu doporučení nějakého projektu pro investora, potom dalším dotazem může být, který stát obsažený ve znalostní bázi má nejnižší riziko investice a nejvíce odpovídá požadavkům investora ze zadání a vyplývající z dialogu. Aby nedošlo k ovlivnění výsledku intuicí investora, byl zadán dotaz skládající se pouze z dotazů EPC projektové náklady (B), výkupní tarif (L) a návratnost (V) vycházejících z předešlých výsledků dialogu. Jednotlivé dotazy byly jen mírně rozšířeny, aby reprezentovaly co nejužší skupinu. Pro srovnání jsou zde uvedeny všechny příklady, přestože ne všechny mohou být doporučeny. Dotazy jsou uvedeny v tabulce (15) a výsledky odpovědí v tabulce (16).

Tabulka 15: Dotazy na stát realizace projektu (X) od investora.

Proměnná	Projekt 30 kW			Projekt 500 kW			Projekt 1 500 kW			Projekt 5 000 kW			Projekt 10 000 kW		
	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d	a	b=c	d
B	1300	1500	1800	1400	1600	2100	1400	1600	1900	1400	1600	1900	1400	1600	1900
L	0.12	0.15	0.18	0.2	0.23	0.27	0.2	0.23	0.28	0.2	0.23	0.28	0.19	0.22	0.25
V	8	10	12	7	9	11	8	10	12	8	10	12	6	9	11
X	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z

Tabulka 16: Výsledek na dotaz stát realizace investice (X) při dotazu od investora.

Projekt (kW)	Stát										
30 kW	PL	RS	HR	BiH	SK	RO	AT	IT	DE	HU	
Stupeň příslušnosti	0.44	0.47	0.41	0.44	0.44	0.40	0.38	0.32	0.36	0.36	
Počet podobných prohlášení	5	4	4	3	3	3	3	3	2	1	
500 kW	AT	PL	IT	RO	RS	BiH	HR	BY	HU	DE	
Stupeň příslušnosti	0.38	0.36	0.36	0.25	0.70	0.38	0.36	0.17	0.22	0.22	
Počet podobných prohlášení	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	
1 500 kW	RO	PL	HR	AT	IT	BiH	BY	HU			
Stupeň příslušnosti	0.36	0.44	0.41	0.38	0.32	0.38	0.33	0.36			
Počet podobných prohlášení	25	3	3	3	3	2	2	1			
5 000 kW	RO	HR	PL	IT	BiH	BY	HU				
Stupeň příslušnosti	0.36	0.36	0.36	0.32	0.38	0.33	0.36				
Počet podobných prohlášení	25	3	3	3	2	2	1				
10 000 kW	PL	IT	RO	BiH	HR	RS	BY	HU	DE		
Stupeň příslušnosti	0.55	0.47	0.25	0.57	0.55	0.51	0.17	0.22	0.22		
Počet podobných prohlášení	3	3	3	2	2	2	2	1	1		
Proměnná	X										
Číslo proměnné	24										

Diskuze výsledků:

Je nutné si uvědomit, že při odpovědi expertního systému u slovního vyjádření jako je stát, nemůžeme vzít jako výsledek odpovědi výpočet vzdálenosti výsledného těžiště plochy od počátku souřadnic, jak tomu bylo u předešlých odpovědí. Proto tabulka (16) obsahuje u každého projektu mnohem více odpovědí, ze kterých si musí rozhodovatel vybrat. Musí

přítom brát na zřetel, že i když se dotaz podobá nějakému prohlášení, odpověď nemusí být správná. Tento fakt plyne z důvodu, že expertní systém neumí rozpoznat, zdali v daném státě je možné při současné legislativě zrealizovat investici o dané velikosti projektu.

U projektu 500 kW z tabulky (16), můžeme zkušenému investorovi doporučit projekt zrealizovat v Rakousku (AT) se stupněm příslušnosti 0,38 nebo Srbsku (RS) se stupněm příslušnosti 0,70. U projektů do velikosti 500 kW nemusíme z obdržných odpovědí od expertního systému vyřadit žádný stát, neboť v roce 2015 všechny tyto státy umožňovaly realizaci investice v takové velikosti (vyřadit bychom museli například Česko (CZ) a Slovensko (SK), které projekty nad 10 kW (CZ) a 30 kW (SK) již nepodporují).

U většího projektu 10 000 kW však již musíme vzít důsledně v potaz platnou legislativu, která umožňuje takto rozsáhlou investici úspěšně zrealizovat. Z odpovědí expertního systému lze vybrat Itálii (IT) se stupněm příslušnosti 0,47, Bělorusko (BY) se stupněm příslušnosti 0,17 a Německo (DE) se stupněm příslušnosti 0,22.

Polsko (PL) se stupněm příslušnosti 0,55 lze například doporučit pouze v případě, že investorovi se podaří vyhrát veřejný tender s nejnižším výkupním tarifem, neboť veřejný tender může vyhrát v Polsku jen podnik s nejnižší nabídkou dodávky elektrické energie vyrobenou z fotovoltaické technologie (tyto podmínky platí v Polsku pro projekty větší než 1 MWp pro rok 2016). V okamžiku, kdy investor má zájem o realizaci investice v Polsku, je vhodné provést další dotaz na návratnost při nejnižším možném výkupním tarifu, který je v současnosti nastaven na hranici asi 0,18 EUR/kWh a ověřit si tak případnou změnu v návratnosti. Jelikož původní dotaz měl proměnnou výkupní tarif (L) definovanou fuzzy dotazem $\langle 0,19; 0,22; 0,25 \rangle$ EUR/kWh, lze očekávat, že doba návratnosti (V) se pravděpodobně mírně prodlouží na „asi“ 12,12 let viz odpověď v tabulce (63) na dotaz v tabulce (13), kde výkupní tarif (L) byl definován fuzzy množinou $\langle 0,15; 0,20; 0,23 \rangle$ EUR/kWh. Je však vhodné tento dotaz zopakovat s novou hodnotou dotazu na průměrný sluneční osvit (K), který bude více odpovídat užšímu průměru slunečního osvitu v Polsku. Pokud by se návratnost přehoupla přes požadovaných 10 let, potom doporučení pro investora bude snížit náklady na investici, a tedy vyjednat s dodavatelem lepší ceny. Rumunsko (RO) má od července 2015 limit do 500 kW pro nově připojené projekty. Přičemž do června 2015 byl limit stanoven do 1 MWp. A tedy ani tento stát nelze doporučit pro projekt 10 000 kW. Z výše uvedeného můžeme tedy investorovi doporučit investici zrealizovat v Itálii (IT), Bělorusku (BY) a Německu (DE). Zkušený investor se nakonec rozhodl pro investici v Itálii a Bělorusku.

Tento čtvrtý dotaz dialogu d) současně vede na zjištění jedné slabiny, kdy většina států obsažených ve znalostní bázi má z hlediska prohlášení část požadovaných parametrů z dotazů. A tedy znalostní báze doporučí všechny státy, které se podobají dotazům. Pokud chce někdo zrealizovat investici při nižších EPC projektových nákladech (B) a má garantovaný vyšší výkupní tarif (L), znalostní báze doporučí ten stát (prohlášení) s daným stupněm příslušnosti, který je tomuto dotazu podobný, jak je vidět v tabulce (16) u projektů 30/ 500/ 1 500/ 5 000/ 10 000 kW. Pokud bychom chtěli dosáhnout co nejpodobnějšího výsledku odpovědí u obou investorů, jak zkušeného tak začátečníka, museli bychom v dotazu přidat další proměnné upřesňující požadavky investice. Nebo bychom museli rozšířit znalostní bázi o další prohlášení na takovou úroveň, která by umožnila zpřesnění dosahovaných výsledků - viz vysvětlení o průměrném počtu prohlášení 1,67 na stát a rok uvedené v kapitole 4.1.

4.9 Diskuze

Výsledky odpovědí dialogu se znalostní bázi jsou dobré, ale u slovních vyjádření mohou mít zavádějící charakter. Dialog vede podle očekávání ke zpřesnění výsledků odpovědí na kladené dotazy a po jeho použití bylo možné doporučit investorovi dva projekty. Nevýhodou

současného stavu znalostní báze zůstává její postupné zastarávání a velikost. Zastarávání znalostní báze lze zabránit postupným doplňováním nových prohlášení do znalostní báze a úpravou parametrů jednotlivých slovníků v případě, že již nevyhovují současnému stavu fotovoltaického trhu. Velikost znalostní báze je vzhledem k počtu obsažených států a dlouhému časovému úseku od roku 2008 do roku 2015 nedostatečně velká. Ke zpřesnění výsledných odpovědí je nezbytné její rozšíření o další prohlášení. Odhaduji, že bude potřeba zvýšit množství prohlášení z posledních tří let (2013 až 2015) dvojnásobně až trojnásobně. Rozšíření znalostní báze by mělo vést k vyšší přesnosti odpovědí expertního systému u širších fuzzy dotazů při dialogu, které vznikají v situaci, kdy investor má pouze mlhavé znalosti o proměnných v dotazech.

5. ZÁVĚR

Disertační práce rozebírá problematiku používání jednotlivých metod podporující rozhodování při investicích do fotovoltaických technologií. Z celkového přehledu je patrná rostoucí tendence používání expertních systémů podporujících rozhodování především v oboru energetiky a životního prostředí. Expertní systémy využívající znalostní báze se stávají čím dál běžnější díky počítačům, které umožňují rychlé zpracování velkého množství dat především v oblasti nejistoty, kdy investor nemá dostatek informací. V globálním světě se ukazuje nezbytnost použití těchto expertních systémů především v důsledku mnoha vstupních proměnných dané turbulentním vývojem nákladů na technologie, neustále se měnící legislativou jednotlivých států, ale také jednotlivými bariérami na globálním trhu.

Hlavním cílem disertační práce bylo vytvoření znalostní báze na základě uskutečněných fotovoltaických projektů a návrh dialogu s touto znalostní bází pro objektivizaci rozhodování o nových projektech. Práce byla zaměřena také na nalezení proměnných vstupujících do rozhodovacího procesu s cílem podpořit rozhodování v předprojekční fázi a umožnit použití výpočetní techniky.

Jednotlivé cíle disertační práce byly:

- Identifikace možných metod a výběr vhodné metody pro tvorbu modelu.
- Návrh proměnných vstupujících do rozhodovacího procesu.
- Sestavení znalostní báze uskutečněných projektů.
- Sestavení slovníků proměnných.
- Implementace do programové podoby pro umožnění zpracování výpočetní technikou.
- Dialog se znalostní bází. Ověření správnosti generovaných výsledků a diskuze.

Bylo dosaženo všech vytyčených cílů disertační práce. Po odladění a následném testování byla ověřena správná funkce znalostní báze a její součinnost s expertním systémem. Dále byly ověřeny přínosy znalostní báze pro rozhodovatele, kde v tomto případě rozhodovatelem je investor, který vede dialog se znalostní bází a dotazuje se na reálné projekty o velikosti 30/500/1500/5000/10000 kW. Jsou zde testovány čtyři dotazy: EPC projektové náklady (B), výkupní tarif (L), návratnost (V) a určení optimálního státu (X) pro realizaci investice. Testování znalostní báze na zmíněných pěti projektech prokázalo, že znalostní báze je užitečná.

Z provedeného dialogu vzešlo několik doporučení investorům investovat do projektu 500 kW a projektu 10 000 kW, kde oba projekty splnily podmínku návratnosti investice do 10 let při velmi nízké míře rizika. U ostatních projektů byly vydány doporučení jak dosáhnout snížení rizika. Všechny výsledky byly zpětně diskutovány s investory, kteří je kvitovali.

Nevýhodou současného stavu znalostní báze zůstává postupné zastarávání a její velikost. Zastarávání znalostní báze lze zabránit postupným doplňováním nových prohlášení do znalostní báze a úpravou parametrů jednotlivých slovníků v případě, že již nevyhovují

současnému stavu fotovoltaického trhu. Velikost znalostní báze je vzhledem k počtu obsažených států a dlouhému časovému úseku od roku 2008 do roku 2015 nedostatečně velká. Ke zpřesnění výsledných odpovědí je nezbytné její rozšíření o další prohlášení. Odhaduji, že bude potřeba zvýšit množství prohlášení z posledních tří let (2013 až 2015) dvojnásobně až trojnásobně. Rozšíření znalostní báze by mělo vést k vyšší přesnosti odpovědí expertního systému u širších fuzzy dotazů při dialogu, které vznikají v situaci, kdy investor má pouze mlhavé znalosti o proměnných v dotazech.

Slabinou expertního systému je potom odpověď u slovních vyjádření jako je například optimální stát realizace projektu, kde rozhodovatel musí znát alespoň základní omezení legislativ každého státu. Jinak by mohl mylně rozhodnout o investici ve státě doporučeném expertním systémem, který si však není vědom nově vzniklých změn a omezení v legislativách jednotlivých států, obsažených ve znalostní bázi.

Přínosem disertační práce není jen sestavená znalostní báze, kterou lze postupně dále rozvíjet, ale také prokázání použitelnosti dialogu s expertním systémem využívající sestavené znalostní báze na tento typ podpory při rozhodování vedoucí ke zpřesnění odpovědí expertního systému. Rozvoj znalostní báze i celého navrženého modelu může být využito nejen investory při podpoře jejich rozhodování v předprojekční fázi, ale může také sloužit jako podpora při rozhodování podniků poskytujících financování fotovoltaických technologií s cílem snížit riziko investice ještě v před úvěrové fázi. Dialog se znalostní bází by měl být veden zkušeným uživatelem, který umí pracovat s expertním systémem a rozumí interpretaci výsledných odpovědí. V opačném případě by odpovědi mohly být vyhodnoceny chybně.

Z výše uvedeného je patrný budoucí přínos jak v oblasti teoretické tak i praktické, kdy teorie by měla sloužit především pro další zkoumání této oblasti. Bylo prohloubeno současné vědecké poznání v oblasti tvorby modelu podporujícího rozhodování v oboru fotovoltaických technologií. Praktickou část lze aplikovat na výběr vhodného investičního projektu do fotovoltaické elektrárny, odhad nákladů, odhad návratnosti a jiných parametrů. To vše především v okamžiku rychle se měnících, komplexních a vágních informací.

6. ZDROJE

- AWERBUCH, S. Investing in photovoltaics: risk, accounting and the value of new technology. In *Energy Policy*. 2000. Vol. 28. Issue 14. p. 1023-1035.
- BOJADZIEV, G.; BOJADZIEV, M. *Fuzzy logic for business, finance, and management*. Hackensack: World Scientific. 2007. 2nd edition. 232 p. ISBN 981-270-649-6.
- CIABATTONI, L.; FERRACUTI, F.; GRISOSTOMI, M.; IPPOLITO, G.; LONGHI, S. Fuzzy logic based economical analysis of photovoltaic energy management. In *Neurocomputing*. 2015.
- COX, E. *Fuzzy Logic for Business and Industry*. Rockland: Charles River Media, 1st edition. 1995, 601 p. ISBN 1-886801-01-0.
- DOHNAL, M. Application of a Universal Expert System in Industry. In *Computer in Industry*. 1985. Vol. 6. p. 115-121.
- DOHNAL, M.; DOHNALOVA, J. Food Engineering and Information Non-Intensive Calculi. In *Journal of Food Engineering*. 1992. vol. 21. p. 41-60.
- DUSONCHET, L.; TELARETTI, E. Economic Analysis of Different Supporting Policies for the Production of Electrical Energy by Solar Photovoltaics in Eastern European Countries. In *Energy Policy*. 2010. Vol. 38. Issue 8. p. 4011-4020
- DUTTA, S. *Knowledge Processing and Applied Artificial Intelligence*. Butterworth-Heinemann Ltd: Linacre House. 1993. ISBN: 978-0-7506-1612-6
- EPIA, 2011. *Solar photovoltaics competing in the energy sector - On the road to competitiveness*. [Online] 2011 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/Competing_Full_Report.pdf
- GAINES, B.R.; SHAW, M.L.G; From fuzzy logic to expert systems. In *Information Sciences*. Vol. 36. Issue 1-2. 1985. p. 5-16.
- GREEN, M. A. Recent Developments in Photovoltaics. In *Solar Energy*. 2004. vol. 76, Issue 1-3. p. 3-8.
- KILIC, M.; KAYA, I. Investment project evaluation by a decision making methodology based on type-2 fuzzy sets. In *Applied Soft Computing*. 2015. Vol. 27. p. 399-410.

- KLIR, G. J. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic*. New Jersey. 1995. 574 p. ISBN 01-310-1171-5.
- LEE, K.C. Fuzzy post adjustment mechanisms to improve the quality of knowledge-based solutions. In *Fuzzy Sets and Systems*. 1994. Vol. 68. Issue 1. p. 67-81.
- LEVY, J.B.; YOON, E. Modeling global market entry decision by fuzzy logic with an application to country risk assessment. In *European Journal of Operational Research*. Vol. 82. Issue 1. 1995. p. 53-78.
- LI, B.M.; XIE, S.Q.; XU, X. Recent development of knowledge-based systems, methods and tools for One-of-a-Kind Production. In *Knowledge-Based Systems*. 2011. Vol. 27. Issue 7. p. 1108-1119.
- NOVÁK, V. *Základy fuzzy modelování*. 1. VYD. PRAHA: BEN – TECHNICKÁ LITERATURA. 2003. 176 p. ISBN 80-7300-009-1.
- PATLITZIANAS, K.D.; DOUKAS, H.; PSARRAS, J. Designing an appropriate ESCOs' environment in the Mediterranean. In *Management of Environmental Quality: An International Journal*. 2006. Vol. 17. Issue 5. p. 538 – 554. ISSN 1477-7835
- RAIS, K.; DOSTÁL, P.; DSKOČIL, R. *Operační a systémová analýza II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2007. 153 p. ISBN 978-80-214-3371-7.
- REICHELSTEIN, S.; YORSTON, M. The prospects for cost competitive solar PV power. In *Energy Policy*. 2013. Vol. 55. p. 117-127.
- RINGEL, M. Fostering the Use of Renewable Energies in the European Union: The race between Feed-in Tariffs and Green Certificates. In *Renewable Energy*. 2006. Vol. 31. Issue 1. p. 1-17.
- SEDER, I.; WEINKAUF, R.; NEUMANN, T. Knowledge-based databases and intelligent decision support for environmental management in urban systems. In: *Computers, Environment and Urban Systems*. 2000. Vol. 24. Issue 3. p. 233-250.
- STUPKA, K.; DOHNAL, M. A fuzzy knowledge base of ball bearing wear and its practical applications. In *Wear*. 1992. Vol. 156. Issue 2. p. 239-250.
- SUGHANTI, L.; INIYAN, S.; SAMUEL, A.A. Applications of fuzzy logic in renewable energy systems – A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 48. p. 585-607.
- ŠUBRT, T. et al. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Aleš Čeněk, 2011. 351 p. ISBN 978-80-7380-345-2.
- TURUNEN, I.; JÄRVELÄINEN, M. Fuzzy Approach to Factorial Cost Estimation of Chemical Plants. In *Engineering Costs and Production Economics*. 1984. Vol. 7. Issue 4. p. 279-292.
- ULIERU, V.D.; CEPISCA C.; IVANOVICI T. Data Acquisition in Photovoltaic Systems. In Mastorakis N.E., et al (Editors). Proceedings of the 13th Wseas International Conference on Recent Advances in Circuits. In: *World Scientific and Engineering Acad and Soc*, Athens. 2009. Vol. 20. p. 191-196.
- VAIJA, P.; JÄRVELÄINEN, M.; DOHNAL, M. Failure Diagnosis of Complex Systems by a Network of Expert Bases. In *Reliability Engineering*. 1986. Vol. 16. p. 237-251.
- VON ALTROCK, C. *Fuzzy Logic and Neurofuzzy Applications in Business and Finance*. Upper Saddle River: Prentice-Hall. 1996. 400 p. ISBN 01-359-1512-0.
- WHALEN, T. Mixed-initiative, goal-directed dialog in a fuzzy knowledge based consultant system. In *International Journal of Approximate Reasoning*. 1988. Vol. 2. Issue 1. p. 15-27.
- WRIGHT, J. The Risks in Solar Investment. In: *Renewable Energy Focus*. Vol. 11. Issue 4. 2010. p. 56-57.
- XU, L.D. A hybrid knowledge-based system for urban development. In: *Expert Systems with Applications*. 1996. Vol. 10. Issue 1. p. 157-163.
- ZADEH, L.A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. In *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions*. 1973. Vol. SMC-3. Issue 1. p. 28-44. ISSN 0018-9472.
- ZHOU P.; ANG B.W.; POH K.L. Decision analysis in energy and environmental modeling: An update. In *Energy*. 2006. Vol. 31. Issue 14. p. 2604-2622.
- ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M.; MATSATSINIS, N.F. On the use of knowledge-based decision support systems in financial management: A survey. In *Decision Support Systems*. 1997. Vol. 20. Issue 3. p. 259-277.

7. CURRICULUM VITAE

Vzdělání

- 2008 – nyní VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ, Fakulta podnikatelská, Brno, Česká republika.
Doktorské studium.
Obor: Řízení a ekonomika podniku.
Téma disertace: Fuzzy model rozhodování investora do fotovoltaických technologií v předprojektční fázi.
- 2003 – 2008: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ, Fakulta strojní, Brno.
Obor: Strojírenská technologie a průmyslový management - získaný titul Ing.
Diplomová práce: Automatizace technologického projektování.

Pedagogická činnost

Finanční trhy – cvičení, bakalářský obor: Řízení a ekonomika podniku.
Vedení dvou bakalářských prací.

Výzkumná činnost

Projekty:

- 2011 Rozvoj poznatků ke zdokonalování informační podpory ekonomického řízení podniku, zahájení: 01.01.2011, ukončení: 31.12.2011. Člen týmu. Výstupem byla zpráva.
- 2010 Kvalitativní modelování, zahájení: 01.01.2010, ukončení: 31.12.2010. Výstupem byl publikovaný článek RIV.

Akademická stáž v zahraničí

- 2009 Výzkumná stáž na dánské universitě AARHUS UNIVERSITET. Ekonomická studie, návrh designu a testování čtyř plochých solárních kolektorů pro ohřev vody.
Popis práce: ekonomická studie, počítačová simulace, matematický výpočet, výroba a testování prototypu. Výstupem byl článek odeslaný k publikování.

Jazyky

- Anglický jazyk Pokročilý, aktivně.
2009 stáž v Dánsku. 2007 Business English kurs. 2003 jazykový pobyt na Maltě, Intermediate certifikát od ESE school.
- Německý jazyk Středně pokročilý, aktivně.
2004 Certifikát EU A2.
- Ruský jazyk Půlroční kurs na VUT.

Pracovní zkušenosti

- 11/2014 – nyní ABB, Area Sales Manager, řízení prodeje solárních produktů ve východoevropském regionu.
- 11/2011 – 10/2014 Power-One GmbH, Sales Key Account Manager, prodej FV měničů ve východoevropském regionu.

8. STRUKTUROVANÝ PŘEHLED VLASTNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOSTI

Recenzovaný odborný článek v odborném periodiku, které je zařazeno v Seznamu neimpaktovaných recenzovaných periodik vydávaných v České republice

- 1) KUBÍČKOVÁ, A.; PAVLÍČEK, M. Fuzzy Model of Investments into High - Tech Projects. In *TRENDY EKONOMIKY A MANAGEMENTU*, 2012, roč. VI, č. 12, s. 103-113. ISSN: 1802- 8527.
- 2) PAVLÍČEK, M.; MELUZÍNOVÁ, J. Overview of the Situation on Photovoltaic Market in Selected Eastern European States. *TRENDY EKONOMIKY A MANAGEMENTU*, 2011, roč. 2011, č. 1, s. 48-57. ISSN: 1802- 8527.
- 3) RAUDENSKÁ, L.; PAVLÍČEK, M.; RAŠKOVÁ, H. QUALITATIVE MODELS AS A SEGMENT OF NATIVE ENGINEERING DESIGN. *Engineering Mechanics*, 2011, roč. 2011, č. 1, s. 43-50. ISSN: 1802- 1484.

Ostatní odborné publikace

- 1) PAVLÍČEK, M. Overview of the Situation on Photovoltaic Market in Selected Eastern European States After World Crisis in 2008. In *Contemporary Issues in Economy - after the crisis?*. Polsko, Toruň: 2011. ISBN: 978-83-62049-08- 0.
- 2) PAVLÍČEK, M. Možnosti střešních instalací fotovoltaických systémů. In *SolarTechnika*, 2011, roč. 2011, s. 74-75. ISSN: 1338- 0524.
- 3) MELUZÍNOVÁ, J.; PAVLÍČEK, M. *The Importance of Human Capital in the Times of Economic Crisis - The Results of Research in the Czech Enterprises*. Brno: 2011. s. 1-5.
- 4) PAVLÍČEK, M.; MELUZÍNOVÁ, J. *Overview of the Situation on Photovoltaic Market in Selected Countries*. CD - International Scientific Ph.D. and Post-Docs Conference "Research in Business and Management". Brno: 2010. s. 1-6. ISBN: 978-80-214-4081- 4.
- 5) MELUZÍN, T.; PAVLÍČEK, M. Analysis of the Current Situation in the Area of IPO on the Czech Capital Market. In *Equilibrium*, 2010, roč. 2010, č. 2, s. 79-92. ISSN: 1689- 765X.
- 6) MELUZÍN, T.; PAVLÍČEK, M. ANALYSIS OF THE CURRENT SITUATION IN THE AREA OF IPO ON THE CZECH CAPITAL MARKET. In *Contemporary Issues in Economy*. Toruň: Nicolas Copernicus University, 2009. s. 1-7. ISBN: 978-83-62049-00- 4.

9. ABSTRACT

Dissertation deals with fuzzy knowledge base supporting investor's investment decision into the photovoltaic technologies during pre-design phase, when the engineering solution is not known yet. Probably, majority of investors have particular image about the cost and risk coming from investment into the photovoltaic technologies. However, this image is limited to the restricted knowledge areas of each investor. During the period, when the investor is planning investment into the costly photovoltaic technologies at complex, vague and heavily qualified information about the conditions and risks of investment in the specific region, where the environment is constantly inconsistent and multidimensional, it is possible to solve this complex situation with fuzzy logic.

This dissertation is focusing on creation of fuzzy knowledge base with selected installed projects in Europe since 2008 and its use with expert system. Furthermore, is covering the definition and description of the variables, which are included in the investor decision making process. The complete designed architecture of the fuzzy knowledge base is tuned and five projects with different size are tested. The fuzzy knowledge base consists of overall 24 variables and 187 statements.