

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra systémového inženýrství**



**Bakalářská práce**

**Aplikace modelů vícekritériální rozhodování ve firmě**

**Jan Pačovský**

© 2019 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Pačovský

Provoz a ekonomika

Název práce

**Aplikace modelů vícekritériální rozhodování ve firmě**

Název anglicky

**Application of Multicriterial Decision Making Models in the Firm**

---

### Cíle práce

Cílem předložené bakalářské práce je doporučení dodavatele hřídelí pro výrobu těžních strojů pro firmu INCO engineering s.r.o., která operuje v těžebním průmyslu, dodává těžební stroje a zařízení pro dopravu v hlubinných a povrchových dolech.

Díličními cíli práce je vytvořit vhodně koncipovaný model vícekritériální analýzy variant pro volbu dodavatele. Model bude konstruován na základě potřeb firmy a jejich odborníků.

### Metodika

V této práci bude postupováno ve třech krocích, podle Simonsovi koncepce – Intelligence, Design a Choice. V prvním kroku bude charakterizován zkoumaný objekt, identifikován problém a cíl řešení, což je podklad pro cíl rozhodování.

Ve druhém kroku – Design budou stanoveny kritéria rozhodování společně s vedením firmy, která budou vycházet z cíle řešení problému. Kritéria budou určeny tak, aby splňovaly následující podmínky:

- Kritéria musí být úplná, nesmí být tedy zanedbán žádný aspekt rozhodování
- Každé kritérium musí být přesně vymezeno
- Každý aspekt rozhodování musí být reprezentován právě jedním kritériem
- Omezení kritérií s minimální vahou, nikoli však na úkor úplnosti kritérií

Následně budou stanoveny váhy bodovací metodou a následně přiřazeny jednotlivým kritériím.

Poté budou stanoveny jednotlivé varianty rozhodování tak, aby bylo možné v kroku 3 vypočítat zvolenou metodou kompromisní variantu.

Po kroku 2 již bude model připravený pro potřeby výpočtu.

V posledním kroku – Choice bude model propočítán pro potřebu doporučení finální kompromisní varianty (Simon, 1977; Boland, a další, 2004).

## Doporučený rozsah práce

30-40 s

## Klíčová slova

Vícekriteriální rozhodování, Kritéria rozhodování, Varianty, Kriteriaální matice, Váhy kritérií, Kompromisní varianta, Dominance, Aspirační úrovně, Informace

---

## Doporučené zdroje informací

GROS, I. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0421-8.

JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum : kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing, 2004. ISBN 80-86419-42-8.

ŠUBRT, T. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.

---

## Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – PEF

## Vedoucí práce

Ing. Roman Kvasnička, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

---

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2019

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2019

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2019

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Aplikace modelů vícekritériální rozhodování ve firmě" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 27. 3. 2019 \_\_\_\_\_

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Romanu Kvasničkoví, Ph.D., Ing Janu Houdkovi Ph.D. a Mgr. Petru Pačovskému za podporu při tvorbě této práce.

# Vícekriteriální rozhodování

## Abstrakt

Předmětem bakalářské práce Aplikace modelů vícekriteriální rozhodování ve firmě je doporučení dodavatele hřídělí pro firmu INCO engineering, která se zabývá výrobou těžních zařízení. Teoretická část práce obsahuje popis modelu vícekriteriálního rozhodování, popis pojmů, které se v této problematice vyskytují, jejich vlastnosti, metody pro stanovování vah kritérií a metody pro výběr kompromisní varianty v závislosti na typu informace, s jakou se v úlohách vícekriteriálního rozhodování pracuje.

V praktické části bakalářské práce je zpracován konkrétní model vícekriteriálního rozhodování s tím, že je určen cíl výpočtu, což je finální doporučení dodavatele hřídělí, stanoven význam kritérií s pomocí vedení podniku a následný výpočet vah kritérií a za pomoci metody váženého součtu doporučení dodavatele.

V závěru práce jsou interpretovány výsledky výpočtů a obecná diskuse o významu doporučení dodavatele za pomoci modelu vícekriteriálního rozhodování.

**Klíčová slova:** Vícekriteriální rozhodování, Kritéria rozhodování, Varianty, Kriteriální matice, Váhy kritérií, Kompromisní varianta, Dominance, Aspirační úrovně, Informace

# **Multi-criteria decision making**

## **Abstract**

The subject of the bachelor thesis Application of Multicriterial Decision Making Models in the Firm is the recommendation of the shaft supplier for INCO engineering, which is engaged in the production of mining equipment.

The theoretical part of the thesis contains a description of a multi-criteria decision model, a description of the terms that occur in this issue, their properties, methods for determining the weights of a criterion and a method for selecting a compromise option depending on the type of information in which the tasks of multi-criteria decision-making work.

In the practical part of the thesis is elaborated a concrete model of multicriterial decision making, with the goal of calculation, which is the final recommendation of the shaft supplier, the importance of criteria with the help of company management and the subsequent calculation of weighting criteria and using the weighted sum method recommendations of the supplier.

At the end of the work, the results of the calculations and the general discussion on the significance of the supplier's recommendations are interpreted using a multi-criteria decision model.

**Keywords: Multi-criteria decision making, Decision criteria, Variants, Criteria matrix, Criteria weight, Compromise option, Dominance of options, Aspiration levels, Information**

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Úvod .....</b>                                       | <b>11</b> |
| <b>2 Cíl práce a metodika .....</b>                       | <b>12</b> |
| 2.1 Cíl práce.....  | 12        |
| 2.2 Metodika.....   | 12        |
| Teoretická východiska .....                               | 13        |
| 2.3 Model VAV .....                                       | 13        |
| 2.3.1 Prvky modelu VAV.....                               | 15        |
| 2.3.2 Zvláštní vlastnosti variant.....                    | 15        |
| 2.3.3 Práce s aspiračními úrovněmi .....                  | 16        |
| 2.4 Metody stanovení vah kritérií .....                   | 17        |
| 2.4.1 Žádná informace .....                               | 18        |
| 2.4.2 Nominální informace.....                            | 18        |
| 2.4.3 Ordinální informace .....                           | 18        |
| 2.4.4 Kardinální informace.....                           | 19        |
| 2.5 Metody výběru kompromisních variant .....             | 20        |
| 2.5.1 Analýza multikriteriálního rozhodování (MCDA) ..... | 20        |
| <b>3 Vlastní práce .....</b>                              | <b>27</b> |
| 3.1 Cíl výpočtu.....                                      | 28        |
| 3.1.1 Výpočet vah .....                                   | 28        |
| 3.1.2 Určení vah bodovací metodou .....                   | 29        |
| 3.2 Výběr kompromisní varianty .....                      | 31        |
| <b>4 Výsledky a diskuse .....</b>                         | <b>34</b> |
| 4.1 Kompromisní varianta.....                             | 34        |
| 4.1.1 Seřazení variant.....                               | 35        |
| 4.1.2 Ostatní metody .....                                | 35        |
| 4.2 Diskuse .....   | 35        |
| 4.3 Závěr.....  | 36        |
| <b>5 Seznam použitých zdrojů .....</b>                    | <b>38</b> |



## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1 Rozhodovací proces .....             | 13 |
| Obrázek 2 Metody kvantifikace preferencí ..... | 22 |
| Obrázek 3 Schéma metody AHP .....              | 25 |
| Obrázek 4 Těžní stroj .....                    | 28 |
| Obrázek 5 Výpočet vah bodovací metodou .....   | 30 |
| Obrázek 6 Kriteriaální matice .....            | 32 |
| Obrázek 7 Hodnoty $H_j$ a $D_j$ .....          | 33 |
| Obrázek 8 Hodnoty $r_{ij}$ .....               | 33 |

## Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| Tabulka 1 Informace o preferencích mezi kritérii ..... | 18 |
| Tabulka 2 Výběr kompromisní varianty .....             | 34 |

# 1 Úvod

V reálných situacích je při rozhodování zpravidla třeba brát v úvahu několik rozhodovacích kritérií, podle kterých se doporučí výsledné řešení k realizaci. Vícekriteriálnost charakterizuje prakticky každou rozhodovací situaci.

V modelech vícekriteriálního rozhodování obvykle nemá smysl výraz optimální řešení, neboť většinou proti sobě stojí protichůdná hlediska – objekt který je dobrý podle jednoho kritéria, bývá hůře ohodnocen podle kritéria jiného. Hledá se tedy kompromisní řešení výběru varianty, vyloučení neefektivních variant, nebo určení pořadí variant, jež jsou výsledkem řešení úloh vícekriteriální analýzy variant, případně vícekriteriálního programování.

Volba metody pro výpočet kompromisní varianty se liší podle cíle, který má z úlohy vyplynout. Je možné hledat například variantu, jež přináší rozhodovateli maximální užitek, případně nalézt takovou variantu, která má hodnoty nejbližší k variantě ideální.

Použitá metoda se také liší v závislosti na typu informace, se kterou se v úloze pracuje.

Je také možné sestavit model vícekriteriálního rozhodování tak, aby se separovaly varianty dobré, tedy efektivní, a neefektivní, případně uspořádat množinu variant od nejlepší po nejhorší (Šubrt, 2015; Jablonský, 2007).

## 2 Cíl práce a metodika

### 2.1 Cíl práce

Cílem předložené bakalářské práce je doporučení dodavatele hřídelí pro výrobu těžních strojů pro firmu INCO engineering s.r.o., která operuje v těžebním průmyslu, dodává těžební stroje a zařízení pro dopravu v hlubinných a povrchových dolech.

Dílními cíli práce je vytvořit vhodně koncipovaný model vícekritériální analýzy variant pro volbu dodavatele. Model bude konstruován na základě potřeb firmy a jejich odborníků.

### 2.2 Metodika

V této práci bude postupováno ve třech krocích, podle Simonsovi koncepce:

- Intelligence,
- Design a
- Choice.

V kroku **Intelligence** bude charakterizován zkoumaný objekt, identifikován problém a cíl řešení, což je podklad pro cíl rozhodování.

Ve druhém kroku – **Design** budou stanoveny kritéria rozhodování společně s vedením firmy, která budou vycházet z cíle řešení problému. Kritéria budou určeny tak, aby splňovaly následující podmínky:

- a) Kritéria musí být úplná, nesmí být tedy zanedbán žádný aspekt rozhodování
- b) Každé kritérium musí být přesně vymezeno
- c) Každý aspekt rozhodování musí být reprezentován právě jedním kritériem
- d) Omezení kritérií s minimální vahou, nikoli však na úkor úplnosti kritérií

Následně budou stanoveny váhy bodovací metodou a následně přiřazeny jednotlivým kritériím.

Poté budou stanoveny jednotlivé varianty rozhodování tak, aby bylo možné v kroku 3 vypočítat zvolenou metodou kompromisní variantu.

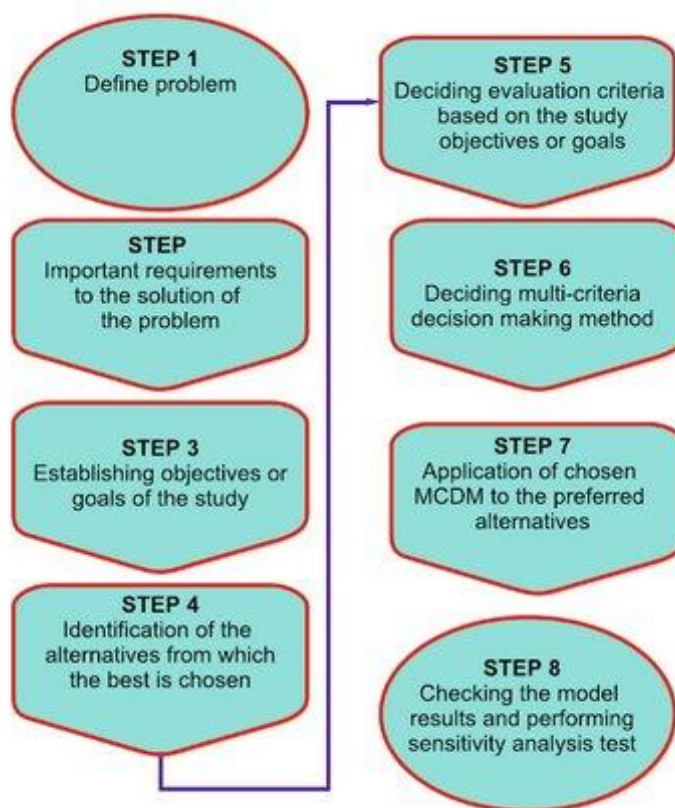
Po kroku 2 již bude model připravený pro potřeby výpočtu.

V posledním kroku – **Choice** bude model propočítán pro potřebu doporučení finální kompromisní varianty (Simon, 1977; Boland, a další, 2004).

## Teoretická východiska

Základní dělení modelů vícekriteriálního rozhodování je určeno množinou přípustných řešení. Jestliže je seznam variant konečný, jsou řešeny úlohy vícekriteriálního hodnocení – analýzy variant (VAV). V případě nekonečné množiny řešení, kdy její prvky jsou ohraničeny soustavou omezujících podmínek a kritéria ohodnocena kriteriálními funkcemi, se řeší úlohy vícekriteriálního programování. Specifickým případem vícekriteriálního programování je vícekriteriální lineární programování (Jablonský, 2007; Šubrt, 2015).

Rozhodovací proces je vyjádřen následujícím schématem:



Obrázek 1 Rozhodovací proces

(Zardari, a další, 2015)

### 2.3 Model VAV

Úkolem modelu VAV je nalézt jednu, případně více variant, které mohou být uskutečněny. Z výše uvedeného je zřejmé, že výsledkem tohoto řešení bude nalezení konkrétní varianty (případně variant), neboť množina přípustných řešení je dána konečným výčtem. Obecně se v modelu VAV vyskytuje  $m$  variant, ohodnocených podle  $n$  kritérií.

Rozhodovatel určuje konkrétní varianty – možnosti rozhodování, které se stanou předmětem analýzy, tak, aby jejich uskutečnění dávalo smysl, současně byly reálně proveditelné a jejich výběr přinesl rozhodovateli užitek.

Při konečném výběru variant je třeba co nejvyšší míry objektivity rozhodovatele, což je možné zajistit tím, že se rozhodovací problém deleguje na nezávislého analytika. Tento postup nemusí být však vždy výhodný, neboť náhradní rozhodovatel nedokáže v modelu aplikovat veškeré detaily, čímž může dojít k doporučení reálně horší varianty (Šubrt, 2015).

### 2.3.1 Prvky modelu VAV

Pro práci s modely VAV je třeba nejprve určit jejich základní pojmy.

**Varianty rozhodování** – v modelech VAV se vyskytuje celkem  $m$  kritérií vybraných rozhodovatelem za účelem zvolení požadovaného počtu kompromisních variant. (Jablonský, 2007)

**Kritéria rozhodování** – je celkem  $n$  kritérií, podle kterých jsou varianty hodnoceny. Kritéria opět volí rozhodovatel tak, aby v ideálním případě pokryly veškeré své preference. Obvykle jde o soustavu kritérií, a to předběžných, na jejichž základě se eliminují z rozhodování záležitosti, které zatěžují rozhodovatele, nemají z hlediska peněžních toků nebo cílů projektu význam a lze je delegovat na jiné osoby. Po eliminaci bezvýznamných kritérií se stanoví kritéria konečná (Jablonský, 2007; Tichý, 2006).

**Kritériální matice** – obsahuje číselné hodnocení variant podle všech kritérií. Toto hodnocení může být vyjádřeno i slovně, což je v mnoha případech jediná možnost, jak kritérium ohodnotit, s tím, že pro potřeby výpočtu je třeba je převést na číselné vyjádření. V případě kvalitativního, nebo smíšeného vyjádření hodnocení, se jedná o kritériální tabulce (Kahraman, 2008; Šubrt, 2015).

**Preference (váhy) kritérií** – vyjadřuje relativní důležitosti kritéria oproti kritériím ostatním. Jejich stanovení je patrně nejobtížnější částí řešení při výběru kompromisní varianty. Většina metod VAV vyžaduje přidělení preferencí jednotlivým kritériím rozhodování (Jablonský, 2007; Triantaphyllou, 2000).

**Cíl rozhodování** – vyjadřuje, čeho se má v modelu VAV dosáhnout. Stanovení cíle rozhodování záleží na povaze rozhodování. Je možné se rozhodovat selektivně, neboli volit kompromisní variantu s použitím jistého řazení, nebo bodově, tedy rozhodovat pouze o přijetí, či zamítnutí varianty (Jablonský, 2007; Triantaphyllou, 2000).

### 2.3.2 Zvláštní vlastnosti variant

Pro zjednodušení procesu rozhodování je účelné definovat některé pojmy týkající se variant rozhodování.

**Dominance variant** – ke stavu dominance dvou variant dochází, jestliže varianta *A* vykazuje ve všech kritériích alespoň stejně dobré hodnoty jako varianta *B*, a současně je alespoň v jednom kritériu hodnocena lépe. Potom je možné konstatovat, že varianta *A* dominuje variantu *B*. Dominovaná varianta je z rozhodování vyřazena, jelikož nemůže nastat stav, kdy bude výhodnější zvolit variantu dominovanou.

Varianty *A* a *B* nejsou vzájemně dominované, jestliže varianta *A* vykazuje podle jednoho kritéria lepší hodnoty než varianta *B*, a současně varianta *B* vykazuje lepší hodnoty než varianta *A* podle kritéria jiného.

Pro rozhodování jsou uvažovány pouze nedominované varianty.

**Ideální a bazální varianta** – jsou hypotetické varianty, které vykazují podle všech kritérií nejlepší, resp. nejhorší hodnoty. Reálně obvykle neexistují, vymezují však prostor a dávají lepší představu o tom, v jakých hodnotách kritérií se lze pohybovat. V případě existence ideální varianty byla by tato jedinou variantou přípustnou k realizaci, neboť by podle všech kritérií vykazovala optimální hodnoty, a tím dominovala všechny ostatní varianty

**Kompromisní varianta** – je varianta doporučená k realizaci. Aby řešení dávalo smysl, vybraná kompromisní varianta musí být nedominovaná. Výběr kompromisní varianty je dán volbou postupu řešení.

V případě, že je třeba nalézt více variant řešení, zjistíme, které, které varianty rozhodování jsou efektivní – takové jsou doporučeny k realizaci, neefektivní jsou potom zamítnuty.

Jestliže je cílem nalézt právě dané množství variant, jsou určeny vzdálenosti jednotlivých variant od ideální varianty a následně určeno i jejich pořadí. Konečně je stanoveno, že řešením je právě daný počet variant, nejbližších od varianty ideální

(Jablonský, 2007; Šubrt, 2015).

### 2.3.3 Práce s aspiračními úrovněmi

Pro rozsáhlé úlohy, kde se vyskytuje mnoho variant řešení je výhodné, aby rozhodovatel určil aspirační úrovně jednotlivých kritérií, a tím vyřadil z rozhodování vyloženě špatné varianty, a to i v případě, že má ordinální, nebo kardinální informaci o preferencích kritérií. Aspirační úrovně jsou nejhorší přípustné hodnoty kritérií, které je ještě rozhodovatel ochoten akceptovat.

Volba aspiračních úrovní je dána především preferencí rozhodovatele.

## 2.4 Metody stanovení vah kritérií

Jak je uvedeno v bodě 3.1.1, stanovení vah kritérií bývá nejobtíznější částí řešení úloh VAV. Pro jejich určení se využívá metod odhadu vah kritérií. Jedná se o relativně velmi jednoduché postupy, které na základě subjektivních informací od rozhodovatele konstruují odhady vah (Jablonský, 2007).

Jednotlivé metody určování vah záleží na typu informace, která je k dispozici o preferencích mezi kritérii a variantami (Šubrt, 2015).

Podstatné je, že váhy kritérií prakticky nemohou být dány objektivně, přestože by měla být snaha o co největší míru objektivity. Jsou vyjádřením subjektivního názoru rozhodovatele založeného na soustavě strategických cílů a jeho názorů. Jestliže je rozhodovatelů více, mohou při stanovování vah postupovat izolovaně, nebo kolektivně. V případě, že postupují izolovaně, váhy jednotlivých kritérií se stanoví aritmetickým průměrem vah určených jednotlivými rozhodovateli. Jestliže pracují kolektivně, je stanovení vah výsledkem diskuse o významnosti jednotlivých kritérií.

Váhy kritérií stanovené podle jednotlivých metod nejsou obvykle normovány, proto je nutné provést normalizaci. Součet všech normovaných vah je roven 1. Obecně platí, že čím je váha daného kritéria vyšší, tím je kritérium pro rozhodování důležitější (Fotr, a další, 2015).

Pro stanovení váhy kritérií je důležité vědět, s jakou informací se v úloze VAV pracuje (viz tabulka č. 1). Tyto informace se týkají preferencí mezi kritérii a/nebo variantami. Existují čtyři typy informace (viz tabulka č. 1), podle kterých se volí metody pro určení vah kritérií.



|            | Informace o preferencích mezi kritérii |                           |
|------------|--|---------------------------|
| Informace  | Metoda                                 | Výstup                    |
| Žádná      | Entropická metoda                      | Vektor vah kritérií       |
| Nominální  | Metoda aspiračních úrovní              | Aspirační úrovně kritérií |
| Ordinální  | Metoda pořadí                          | Vektor vah kritérií       |
|            | Fullerova metoda                       |                           |
| Kardinální | Bodovací metoda                        |                           |
|            | Saatyho metoda                         |                           |

**Tabulka 1** Informace o preferencích mezi kritérii

(Šubrt, 2015)

#### 2.4.1 Žádná informace

V případě, že není známa informace o preferencích mezi kritérii je možné využít entropickou metodu. Tato metoda je vhodná pro měření relativního rozdílu mezi kritérii. Podle entropické metody, pokud jsou všechny varianty podle daného kritéria hodnoceny stejně, potom se takové kritérium z rozhodování vyřadí, neboť neudává žádnou informaci o preferencích rozhodovatele (Liu, 2016).

#### 2.4.2 Nominální informace

Nominální (stejně jako žádná) informace je přípustná pouze pro kritéria. Je vyjádřena pomocí aspiračních úrovní, což jsou nejhorší možné hodnoty, při kterých ještě může být varianta akceptována. Současně rozděluje varianty podle příslušného kritéria na akceptovatelné a neakceptovatelné. Výsledkem metody aspiračních úrovní jsou aspirační úrovně kritérií (Šubrt, 2015).

#### 2.4.3 Ordinální informace

Ordinální informace umožňuje určit pořadí důležitosti kritérií, případně uspořádání variant podle toho, jak jsou oceněny kritériem, a to buď přímo, nebo převedením na číselné hodnoty pro potřeby dalších výpočtů (Šubrt, 2015; Pomerol, a další, 2012).

Při řešení úloh, ve kterých je známa ordinální informace je vhodné použít:

**Metodu prostého pořadí** – tato metoda již respektuje vzájemný odstup jednotlivých hodnot, kterých kritéria nabývají – nejlepší kritérium je ohodnoceno pořadovým číslem 1, druhé

v pořadí číslem 2, až  $n$ -té kritérium číslem  $n$  – tedy nejvyšším. Nevýhodou této metody je, že není schopna určit absolutní hodnotu odstupe mezi kritérii (Scholleová, 2009).

**Metodu Fullerova trojúhelníku** – pokud ordinální informace vyjadřuje pouze vztah mezi každou dvojicí hodnocených kritérií, lze použít metodu párového porovnávání (Šubrt, 2015; Dušek, 2018).

#### 2.4.4 Kardinální informace

Kardinální informace vyjadřuje o kolik je jedno kritérium důležitější než druhé. Uplatňuje tedy možnost zdůraznění odstupe (absolutního rozdílu) mezi jednotlivými kritérii nezávisle na zvolené metodě. V případě kardinální informace není třeba jakkoli převádět bodové hodnoty, neboť tyto mají již maximalizační charakter.

Určení bodové škály záleží pouze na rozhodovateli. Obecně platí, že čím je škála širší, tím lépe se dají určit odstupy mezi jednotlivými kritérii.

Po ohodnocení kritérií podle předem stanovené škály je potřeba provést normalizaci, která konečně vyjádří absolutní váhu kritéria (Šubrt, 2015; Machalová, 2007).

Pro práci s kardinální informací je vhodné použít:

**Bodovací metodu** – každému kritériu se přiřadí určitý počet bodů a provede se normalizace pro získání vah kritérií

**Saatyho metoda** – tato metoda je založena na vzájemném párovém porovnání všech kritérií. Při práci se Saatyho metodou se využívá stupnice 1–9 kde každá hodnota vyjadřuje preferenci, respektive dispreferenci jednotlivých kritérií.

Definované hodnoty Saatyho metody jsou:

- 1 – rovnocennost
- 3 – slabá preference
- 5 – silná preference
- 7 – velmi silná preference
- 9 – absolutní preference

Dispreferovaným kritériím jsou přiřazeny hodnoty převrácené.

Je možné využít i jemnější stupnici, ve které se uvádí mezistupně (2, 4, 6, 8), čímž se přispěje k lepšímu rozlišení kritérií.

Obecně platí, čím je stupnice jemnější, tím obtížnější je přiřazení bodů z této stupnice jednotlivým kritériím. Naopak hrubá stupnice (při využití pouze tří stupňů) umožňuje snazší výpočet, avšak méně rozlišuje odstupy mezi kritérii (Fotr, a další, 2015).

## 2.5 Metody výběru kompromisních variant

### 2.5.1 Analýza multikriteriálního rozhodování (MCDA)

Analýza multikriteriálního rozhodování (MCDA – Multicriterial Decision Analysis) slouží pro výběr kompromisní varianty na základě více kritérií. Cílem je dosáhnout objektivního a transparentního rozhodnutí tím, že se do rozhodování zahrnou všechna relevantní kritéria, která se podle své důležitosti opatří vahami (Korecký, a další, 2011).

Pro volbu metody konečného určení kompromisní varianty záleží na typu informace, jaká o preferenci kritérií existuje. Následující uvedené metody jsou zástupci metod, s nimiž se pracuje při konkrétní znalosti informace.

#### Metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií

Jestliže je model zadán pouze pomocí preferencí variant podle jednotlivých kritérií a nejsou známy preference kritérií, lze využít:

- Bodovací metodu
- Metodu pořadí

Výhodou těchto metod je jednoduchost řešení, nevýhodou je, že neberou v úvahu minimalizaci vzdálenosti od ideální varianty (viz Metody založené na minimalizaci vzdálenosti od ideální varianty) (Šubrt, 2015).

Je výhodné nejprve zjistit, zda se v modelu nevyskytují dominované varianty, které mohou být z rozhodování vyřazeny (Scholleová, 2009).

U obou metod je každá varianta ohodnocena podle každého kritéria číslem  $b_{ij}$ . V případě metody pořadí jsou jednotlivé varianty ohodnoceny čísly mezi 1 a  $m$  tak, aby nejlepší ohodnocení bylo  $m$  ( $m$  je počet variant). V případě stejného ohodnocení je vhodné použít průměrná pořadová čísla.

V případě metody bodovací je nutné použít pro kvantifikaci informací podle jednotlivých kritérií vhodnou stupnici, tak, aby nejlepší ohodnocení varianty bylo  $m_{\max}$ .

Celkové ohodnocení každé varianty se pak vypočítá jako součet dílčích hodnot:

$$b_i = \sum_{j=1}^k b_{ij} \quad (1)$$

Následně se varianty uspořádají sestupně podle hodnot  $b_i$  a kompromisní (nejlepší) varianta je vybrána podle vztahu:

$$ar: b_I = \max(b_i); i=1, \dots, s$$

Jestliže je nejlepší ohodnocení varianty dáno nejnižším číslem, uspořádají se varianty podle čísel  $b_i$  vzestupně a nejlepší varianta má nejnižší ohodnocení (Šubrt, 2015).

### **Metody vyžadující aspirační úrovně kritérií**

Pojem aspirační úroveň se používá pro vyjádření určité hodnoty, které je třeba dosáhnout, případně pro odhad vlastního potenciálu v daných schopnostech, znalostech, případně dovednostech (Mikuláščík, 2015).

V metodách výběru kompromisní varianty je nastavování aspiračních úrovní dáno preferencí rozhodovatele a jedná se o nejhorší přípustnou hodnotu daného kritéria, při kterém může být varianta akceptována. Jak bylo uvedeno v bodě 3.1.3, je výhodné pro rozsáhlé úlohy nastavit aspirační úrovně tak, aby se z rozhodování, před finálním výběrem, vyřadily vyloženě špatné varianty.

Při stanovování aspiračních úrovní lze postupovat:

- a) Konjunktivně, tedy s logickou spojkou *a*, kdy varianta, aby mohla být přijata, musí splňovat všechny aspirační úrovně kritérií současně (Štěpán, 2011)
- b) Disjunktivně, tedy s logickou spojkou *nebo*, kdy je požadováno splnění alespoň jedné aspirační úrovně kritérií, pro možné přijetí varianty (Šubrt, 2015).

### **Metody vyžadující ordinální informaci**

Metody patřící do této skupiny předpokládají, že rozhodovatel je schopen své preference na množině charakteristik vyjádřit pouze ordinálně neboli je schopen zadat pořadí důležitosti kritérií a pořadí variant podle jednotlivých kritérií (Bouška, Praha).

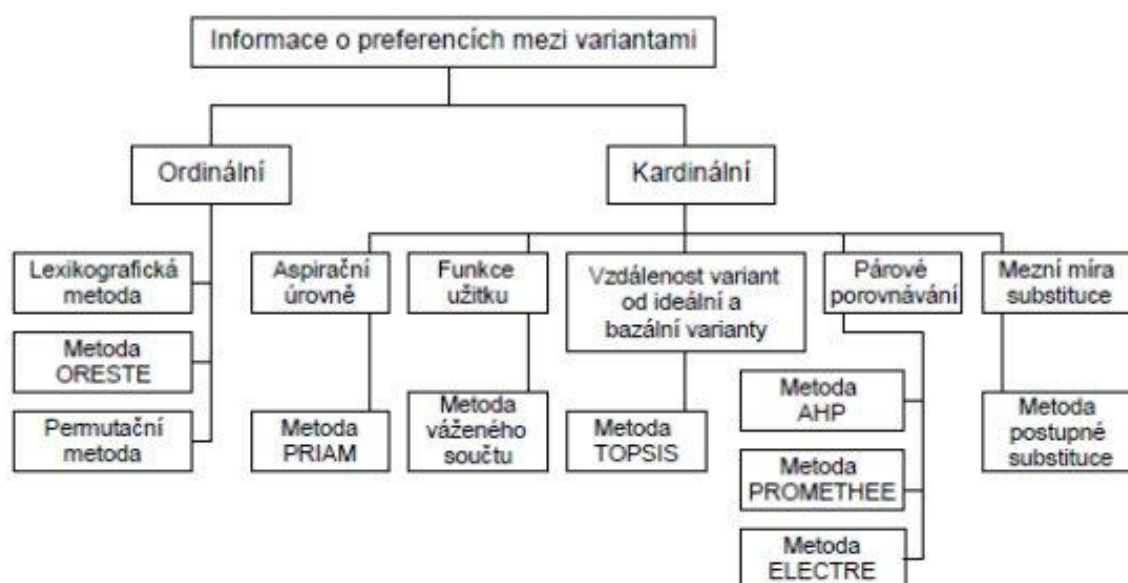
Ordinální informace má relativně vyšší vypovídací hodnotu (oproti žádné a nominální informaci), není však schopna určit absolutní odstup mezi kritérii a variantami (Wagner, 2009).

Pro práci s ordinální informací se využívá lexikografická metoda, která vychází z principu, že největší vliv na výběr kompromisní varianty má nejdůležitější kritérium. Jestliže existuje více variant, které jsou oceněny stejně podle nejdůležitějšího kritéria přejde se na hodnocení podle kritéria, které následuje v pořadí důležitosti. Kompromisní varianty jsou potom ty, jež zůstaly stejně hodnoceny po zařazení posledního kritéria (Šubrt, 2015).

### Metody vyžadující kardinální informaci

Metody, které pro svou práci vyžadují kardinální informaci, to je takovou, která dokáže určit odstup mezi kritérii a variantami, se dělí do tří základních skupin podle toho, co je konkrétním cílem:

- a) Maximalizace užitku
- b) Minimalizace vzdálenosti od ideální varianty
- c) Preferenční relace (Šubrt, 2015).



Obrázek 2 Metody kvantifikace preferencí

(Růčková, 2011)

Jestliže je cílem maximalizovat užitek je možné využít metodu váženého součtu. Tato metoda je založena na konstrukci lineární funkce užitku v intervalu  $\langle 0; 1 \rangle$ . Nejhorší varianta podle daného kritéria bude mít užitek roven nule, nejlepší varianta bude mít užitek roven jedné. Zbylé varianty budou potom mít užitek z intervalu  $(0; 1)$ . Pro svou jednoduchost je tato metoda v praxi velice často využívána (Deb, 2001).

Při aplikaci této metody je třeba nahradit prvky  $y_{ij}$  vstupní kritériální matice hodnotami  $y_{ij}'$ , které budou představovat užitek varianty  $X_i$  při hodnocení podle kritéria  $Y_j$ .

Při výpočtu je nutné brát v úvahu povahu kritérií. Pro maximalizační kritéria jsou hodnoty  $y_{ij}'$  určeny podle vzorce:

$$y_{ij}' = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad (2)$$

Pro minimalizační kritéria je vzorec modifikován:

$$y_{ij}' = \frac{H_j - y_{ij}}{H_j - D_j} \quad (2)$$

Celkový užitek varianty  $X_i$  lze následně vypočítat jako vážený součet dílčích užiteků podle jednotlivých kritérií a následně je možné varianty uspořádat od nejlepší – takové, která má hodnotu váženého součtu nejvyšší, po nejhorší, podle klesajících hodnot užitku (Jablonský, 2007).

Podobně, jako metodu váženého součtu lze využít metodu bazické varianty. U této metody je nejprve třeba určit báze (B), což jsou nejlepší hodnoty podle všech kritérií a následně nahradit výchozí kritériální matici novými hodnotami  $y_{ij}'$  podle vzorců:

$$y_{ij}' = \frac{y_{ij}}{B}, \text{ pro maximalizační kritérium} \quad (4)$$

$$y_{ij}' = \frac{B}{y_{ij}}, \text{ pro minimalizační kritérium} \quad (5)$$

Konečně se provede skalární součin vektoru vah a hodnot  $y_{ij}'$ . Výsledné hodnoty jsou poté podkladem pro seřazení variant od nejlepší po nejhorší.

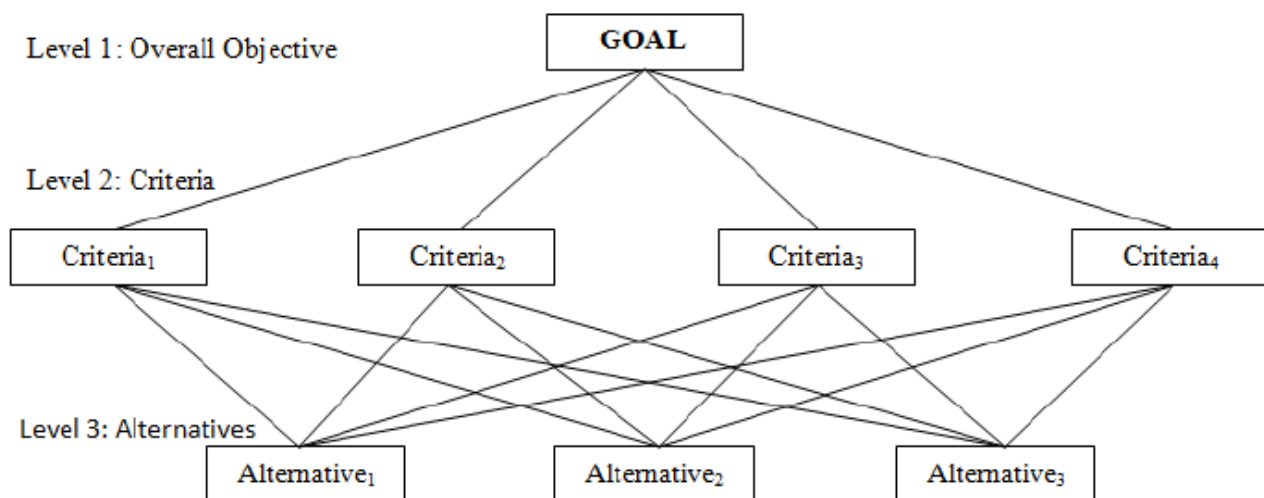
Následující metoda je založena na párovém porovnávání. Jedná se o metodu Analytického hierarchického procesu (AHP). Metoda AHP je pokročilá technika, která podporuje rozhodovací proces, kvantifikuje nehmotné faktory a oceňuje varianty podle všech kritérií (Jayaswal, a další, 2007).

Umožňuje dekomponovat problém na subproblémy, pracovat s hodnocením jednotlivých kritérií více hodnotiteli, kteří mohou být ohodnoceni například podle důvěryhodnosti. (Korecký, a další, 2011)

Základní prvky a kroky metody AHP jsou:

- a) Konstrukce hierarchie problému
- b) Párové porovnávání prvků na všech hierarchických úrovních
- c) Sloučení získaných preferencí a volba nejlepší varianty (Šubrt, 2015).

Výsledné doporučení kompromisní varianty je získáno provedením párového porovnávání kritérií (založeného na modifikované Saatyho metodě) a sumou hodnot získaných párovým porovnáním jednotlivých kritérií.



**Obrázek 3** Schéma metody AHP

(researchgate.net)

Dále může být cílem najít variantu, která má minimální vzdálenost od ideální varianty. Pro tento případ se využívá metoda TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) (Stanković, a další, 2017). Tato metoda posuzuje varianty z hlediska jejich vzdálenosti od ideální a bazální varianty. Pro výpočet je třeba zkonstruovat normalizovanou kritériální matici  $\mathbf{R}=(r_{ij})$ , podle vzorce:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^k y_{ij}^2}} \quad (6)$$

následně se provede výpočet hodnot  $d^+$ , podle vzorce:

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - h_j)^2} \quad (7)$$

a výpočet hodnot  $d^-$ , podle vzorce:

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - d_j)^2} \quad (8)$$



finálním krokem je výpočet hodnoty  $c_i$

$$c_i = \frac{d^-}{d^- + d^+} \quad (9)$$

poslední krok je podkladem pro vyhodnocení variant a určení kompromisní varianty (případně seřazení variant od nejlepší po nejhorší) (Šubrt, 2015).

### 3 Vlastní práce

Pro praktické využití modelů vícekritériálního rozhodování jsem zvolil výběr dodavatele hřídelí pro firmu INCO engineering, s.r.o.. Firma INCO engineering se zabývá výrobou strojů a zařízení pro vertikální a úklonnou dopravu v hlubinných a povrchových dolech, včetně jejich montáže a uvedení do provozu, servisu a dodávky náhradních dílů. Pro získání konkurenční výhody se firma snaží o neustálou modernizaci především mechanických částí, brzdového systému a elektrických částí těžních zařízení. Při výrobě těchto strojů firma spolupracuje s dodavateli jednotlivých součástí strojů, které není schopna vyrobit sama. Společnost INCO engineering s.r.o. existuje od roku 1994, kdy byla založena jako pokračovatel více než stovacetileté tradice těžních strojů a zařízení pro doly vyráběných firmou ČKD v Praze. Ta v té době vyřadila ze svého rozsáhlého výrobního programu tento obor v rámci restrukturalizace. Do nově založené společnosti přešli projektanti, konstruktéři, pracovníci obchodních složek, odborníci na technologii výroby, specialisté na uvádění do provozu i pracovníci servisu. Rovněž byl odkoupen archiv výkresové dokumentace. Hluboko sahající tradici lze doložit následujícími údaji: první těžní stroj s parním pohonem byl vyroben roku 1877, v roce 1896 byl firmou uveden do provozu první těžní stroj s elektrickým pohonem a v roce 1908 byl předán zákazníkovi první těžní stroj s třecím kotoučem ve věžové strojovně.

Do současné doby firma vyrobila celkem a do mnoha států světa dodala téměř 700 těžních strojů a nepřeberné množství dalších výrobků pro doly. Jako příklad lze uvést jeden z nejmodernějších a vůbec největších těžních strojů, které vyprodukovala. Nese typové označení 8K5032 a v roce 2007 byl vyroben pro ruskou těžební společnost. Jedná se o osmilanový dvoumotorový těžní stroj s třecím kotoučem o jmenovitém průměru 5000 mm s celkovým výkonem 11000 kW, který je schopen vyvézt na povrch najednou 60 tun rudy rychlostí 16,5 m/s.

Firma INCO Engineering v současnosti zaměstnává přibližně 120 lidí a operuje jak na domácím tak (především) zahraničním trhu (INCO Engineering, s.r.o.).



**Obrázek 4 Těžní stroj**  
foto: Ing. Jan Houdek, Ph.D.

### 3.1 Cíl výpočtu

Cílem výpočtů bude doporučení dodavatele hřídelí, které jsou základem pro výrobu těžních strojů. Celkem je v rozhodovacím procesu pět reálných dodavatelů. Vedením podniku bylo stanoveno celkem 25 kritérií, které jsou brány v úvahu pro rozhodování. Těmto kritériím byly přiřazeny váhy podle skutečných preferencí rozhodovatele. Vedení podniku přiřadilo jednotlivým kritériím bodové hodnocení na bodovací škále 1–10, přičemž 10 znamená, že kritérium je absolutně významné, 1 znamená, že kritérium je relativně nevýznamné.

#### 3.1.1 Výpočet vah

Pro finální doporučení dodavatele je nutné nejprve určit váhy jednotlivých kritérií. Protože rozhodovatel dokázal určit odstup mezi kritérii pomocí bodů na bodové škále 1–10, je výhodné pro stanovení vah použít bodovací metodu. Bodovací metoda stanovuje procentuální hodnotu u každého kritéria (Taušl Procházková, a další, 2018).

Výpočet vah bodovací metodou má dvě části:

určí se suma bodů všech kritérií

provede se normalizace, kdy se bodové hodnocení každého kritéria vydělí sumou bodů všech kritérií. Takto normalizovaný vektor vah je již možné použít při dalších výpočtech.

### 3.1.2 Určení vah bodovací metodou

Celkem bylo stanoveno 25 kritérií podle tří hledisek (certifikace, výroba a obchodní hledisko), čímž jsou pokryty veškeré požadavky firmy na dodavatele. Váhy jednotlivých kritérií byly stanoveny pomocí bodovací metody – viz dále. Uvedená kritéria jsou pro vyhodnocení výběru subdodavatele – strojířny pro výrobu přesných přípravků.

Bodovací metoda pracuje tak, že nejprve se určí suma všech bodů všech kritérií a následně se provede normalizace. Normalizovaný vektor vah je již možné použít pro potřeby dalších výpočtů. Tato metoda je vhodná i pro rozsáhlejší typy úloh (úlohy s větším počtem kritérií), obvykle potom vycházejí relativně nízké absolutní hodnoty vah, neboť suma všech vah musí dát dohromady hodnotu jedna.

| Váha | Kritérium                                   |
|------|---|
| 10   | Certifikace ISO 14001                       |
| 10   | Certifikace ISO 9001                        |
| 10   | Protokol o shodě (CoC)                      |
| 10   | Certifikace svařování                       |
| 10   | Certifikace vizuální zkouška                |
| 10   | Zkušenost s výrobou sestavovacích přípravků |
| 6    | Počet pracovníků                            |
| 10   | Výrobní prostory                            |
| 8    | Požadované technologie vlastní              |
| 7    | Dostatečná kapacita s rezervou              |
| 4    | Počet subdodavatelů                         |
| 4    | Servis                                      |
| 5    | Dodání materiálu                            |
| 7    | Obrábění                                    |
| 5    | Žlhaní                                      |
| 5    | Povrchová úprava                            |
| 2    | Měřicí zařízení 3D                          |
| 2    | Vlastní montáž na místě                     |
| 4    | Finanční kapitál                            |
| 10   | Cena  |
| 9    | Splatnost                                   |
| 10   | Dodací lhůta                                |
| 5    | Prověřený dodavatel A/N                     |
| 10   | Záruka dodržení dodací lhůty                |
| 3    | Lokace                                      |
| 173  | $\Sigma$                                    |

Obrázek 5 Výpočet vah bodovací metodou

Z výše uvedeného výpočtu je patrné, že absolutní hodnoty vah u kritérií, kterým byl přisuzován absolutní význam, jsou velice nízké, avšak v relaci s hodnotami vah kritérií, která byla hodnocena jako méně významná, jsou tyto hodnoty vysoké.<sup>1</sup>

### 3.2 Výběr kompromisní varianty

Stejně, jako u významnosti kritérií, kde firma byla schopna určit rozdíly na bodové škále 1–10, byla schopna určit na stejné bodové škále kritériální matici. Veškeré hodnoty (včetně ceny) kritériální matice mají již maximalizační charakter.

Takto zvolená stupnice dává poměrně velký prostor pro rozlišení variant, současně však zjednodušuje výpočet pro doporučení kompromisní varianty.

V tomto případě se jedná o kardinální informaci, která zohledňuje odstupy mezi kritérii a lze tedy využít některou z metod, jež s kardinální informací pracuje (viz tabulka Informace o preferencích mezi kritérii).

---

<sup>1</sup> Suma všech vah musí dát dohromady hodnotu 1.

| Kritérium                                   | Význam |    |    |     |    |
|---|--------|----|----|-----|----|
|   | 5      | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Certifikace ISO 14001                       | 10     | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Certifikace ISO 9001                        | 10     | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Protokol o shodě (CoC)                      | 10     | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Certifikace svařování                       | 10     | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Certifikace vizuální zkouška                | 10     | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Zkušenost s výrobou sestavovacích přípravků | 10     | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Počet pracovníků                            | 6      | 6  | 6  | 3   | 6  |
| Výrobní prostory                            | 10     | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Požadované technologie vlastní              | 8      | 8  | 8  | 4   | 8  |
| Dostatečná kapacita s rezervou              | 7      | 7  | 7  | 3,5 | 7  |
| Počet subdodavatelů                         | 4      | 4  | 4  | 2   | 4  |
| Servis                                      | 4      | 4  | 4  | 0   | 4  |
| Dodání materiálu                            | 5      | 5  | 5  | 2,5 | 5  |
| Obrábění                                    | 7      | 7  | 7  | 3,5 | 7  |
| Žitání                                      | 5      | 5  | 5  | 2,5 | 5  |
| Povrchová úprava                            | 5      | 5  | 5  | 2,5 | 5  |
| Měřicí zařízení 3D                          | 2      | 2  | 2  | 0   | 2  |
| Vlastní montáž na místě                     | 2      | 2  | 2  | 0   | 2  |
| Finanční kapitál                            | 4      | 4  | 4  | 1   | 4  |
| Cena  | 10     | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Splatnost                                   | 6      | 6  | 6  | 3   | 6  |
| Dodací lhůta                                | 10     | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Prověřený dodavatel A/N                     | 5      | 5  | 5  | 2,5 | 5  |
| Záruka dodržení dodací lhůty                | 10     | 10 | 10 | 5   | 10 |
| Lokace                                      | 3      | 3  | 3  | 1,5 | 3  |

Obrázek 6 Kriteriační matice

Pro výpočet kompromisní varianty jsem zvolil metodu váženého součtu, jejímž cílem je maximalizovat hodnotu užitku

Pro určení kompromisní varianty metodou váženého součtu je nejprve nutné určit hodnoty  $H_j$  a  $D_j$ , což jsou nejlepší, respektive nejhorší hodnoty podle každého kritéria. Následně se určí rozdíl těchto hodnot pro minimalizační i maximalizační kritéria, jako velikost rozdílu

hodnot  $H_j - D_j$ .

|                                |     |    |    |    |    |     |   |     |   |     |   |
|--------------------------------|-----|----|----|----|----|-----|---|-----|---|-----|---|
| H <sub>j</sub>                 | 10  | 10 | 10 | 10 | 10 | 10  | 3 | 10  | 8 | 4   | 4 |
| D <sub>j</sub>                 | 3,5 | 5  | 5  | 5  | 5  | 2,5 | 0 | 2,5 | 0 | 3,5 | 2 |
| H <sub>j</sub> -D <sub>j</sub> | 6,5 | 5  | 5  | 5  | 5  | 7,5 | 3 | 7,5 | 8 | 0,5 | 2 |

|   |     |     |   |     |   |   |   |     |   |    |   |   |   |
|---|-----|-----|---|-----|---|---|---|-----|---|----|---|---|---|
| 4 | 5   | 7   | 5 | 5   | 1 | 2 | 4 | 5   | 3 | 10 | 5 | 5 | 3 |
| 0 | 2,5 | 3,5 | 0 | 2,5 | 0 | 0 | 1 | 2,5 | 1 | 0  | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 2,5 | 3,5 | 5 | 2,5 | 1 | 2 | 3 | 2,5 | 2 | 10 | 5 | 5 | 3 |

Obrázek 7 Hodnoty  $H_j$  a  $D_j$

V dalším kroku se určí hodnoty nové tabulky  $r_{ij}$  podle vzorce:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j}$$

|             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Dodavatel 1 | 0,231 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,333 | 0,500 | 0,000 | 0,000 |
| Dodavatel 2 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 |
| Dodavatel 3 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,333 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| Dodavatel 4 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,625 | 1,000 | 0,000 |
| Dodavatel 5 | 0,231 | 1,000 | 0,400 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,333 | 0,625 | 0,000 | 1,000 |
| váha        | 0,058 | 0,058 | 0,058 | 0,058 | 0,058 | 0,058 | 0,035 | 0,058 | 0,046 | 0,04  | 0,023 |

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,333 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,500 |
| 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,500 |
| 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,500 | 1,000 | 0,000 | 0,500 | 0,333 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 1,000 |
| 0,000 | 0,000 | 0,429 | 0,500 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,500 | 0,500 | 0,400 | 0,000 |
| 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,500 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,333 | 0,000 | 0,000 | 0,500 | 0,500 | 0,000 | 1,000 |
| 0,023 | 0,029 | 0,04  | 0,029 | 0,029 | 0,012 | 0,012 | 0,023 | 0,058 | 0,035 | 0,058 | 0,029 | 0,058 | 0,017 |

Obrázek 8 Hodnoty  $r_{ij}$



V konečném kroku se určí kompromisní varianta, což je taková varianta, jejíž hodnota skalárního součinu jednotlivých hodnot nové tabulky a vah kritérií  $w$  je maximální. (Šubrt, 2015)

|             | <b>w</b>  |
|-------------|-----------|
| Dodavatel 1 | 0,6790425 |
| Dodavatel 2 | 0,6676301 |
| Dodavatel 3 | 0,6281310 |
| Dodavatel 4 | 0,2023121 |
| Dodavatel 5 | 0,3524529 |

**Tabulka 2** Výběr kompromisní varianty

## 4 Výsledky a diskuse

### 4.1 Kompromisní varianta

Jako kompromisní varianta podle metody váženého součtu by byla zvolena varianta Dodavatel 1, neboť její užitek pro rozhodovatele je ze všech ostatních maximální.

Poměrně těsně za touto alternativou je varianta Dodavatel 2, následovány variantou Dodavatel 3, následně Dodavatel 5 a jako poslední varianta Dodavatel 4.

Kdyby z jakéhokoli důvodu nebylo možné pro rozhodovatele přijmout nejlepší variantu, podle tohoto výpočtu, může zvolit 2., případně jakoukoli další variantu, neboť ví, jaký užitek mu dané varianty přináší, nicméně jakákoli jiná, než nejlepší varianta mu přinese užitek nižší. Kompromisní varianta v tomto případě vykazovala podle čtyř kritérií maximální hodnoty (10 bodů) a současně byla v osmi kritériích hodnocena nejlépe.

Paradoxně, varianty Dodavatel 2 a Dodavatel 3 vykazovaly maximální hodnocení v šesti kritériích, přesto nebyly doporučeny k realizaci. Obě tyto varianty vykazovaly nulové hodnocení podle čtyř kritérií. Je pravděpodobné, že kdyby v alespoň v jednom takovémto kritériu vykazovaly hodnoty větší než nulové, byly by doporučeny k realizaci (především varianta Dodavatel 2, neboť výsledné hodnoty pro finální doporučení jsou velice těsné)

Varianty Dodavatel 4 a Dodavatel 5 oproti předchozím třem neměly ani podle jednoho kritéria maximální bodové ohodnocení, proto je zřejmé, že nemohou být doporučeny. Navíc podle všech kritérií vykazují relativně nízké hodnoty.

#### 4.1.1 Seřazení variant

Díky kardinální informaci o preferencích mezi variantami a kritérii je možné podle výpočtu seřadit jednotlivé varianty od nejlepší po nejhorší. Navíc, díky použité metodě je možné určit, jaký užitek jednotlivé varianty přináší.

Jelikož tato úloha není nijak rozsáhlá, nebylo nutné stanovovat aspirační úrovně (pro tento typ úlohy by aspirační úrovně byly nevhodné), avšak při relativně jemném nastavení by pravděpodobně z rozhodování vypadla varianta Dodavatel 4, neboť její hodnoty jsou oproti ostatním dosti špatné.

#### 4.1.2 Ostatní metody

Je evidentní, že tato úloha by mohla být řešena i jinými metodami, které pracují s kardinální informací. Současně, je možné, že při použití jiné metody by byly výsledky odlišné, jednak číselně, a jednak co se týče doporučené varianty. Při využití jiné metody, která je založena na funkci maximalizace užitku, by pravděpodobně výsledky (doporučení variant) zůstaly stejné. Mohlo by se jednat například o metodu bazické varianty, kde se pracuje s bazickou hodnotou jednotlivých kritérií, což má obdobu ideální varianty v metodě váženého součtu. Obdobně jsou také dopočítávány hodnoty nové tabulky s prvky  $r_{ij}$ , kde pro maximalizační kritéria jsou to hodnoty původní dělené bází a pro minimalizační kritéria je to báze dělená původní hodnotou. Následně se provede skalární součin vektoru vah s nově vypočtenými hodnotami a určí se kompromisní varianta.

## 4.2 Diskuse

Pomocí modelů VAV lze určit kompromisní variantu prakticky pro každý rozhodovací problém, ve kterém se vyskytuje více kritérií a variant a rozhodování je spjato například s vyššími finančními prostředky. V tomto případě byl doporučen jeden dodavatel, kterého by měla firma zvolit tak, aby maximalizovala funkci užitku. Současně byly jednotlivé varianty seřazeny od nejlepší po nejhorší, takže pro případ, že by firma nemohla zvolit Dodavatele 1, může se lépe orientovat v ostatních variantách.

Z konzultace s managementem firmy vyplynulo, že firma obvykle vybírá dodavatele ze tří subjektů, takže tato zvolená metoda pro výběr kompromisní varianty je výhodná (firma může vybírat z prvních tří nejlépe hodnocených dodavatelů).

Při volbě jiné metody (například takové, která hledá nejmenší vzdálenost od varianty ideální) by patrně vyšly velmi podobné výsledky v podobě doporučení konkrétního jednoho dodavatele a opět by bylo možné vybírat z prvních tří nejlepších dodavatelů.

Metoda váženého součtu by mohla zefektivnit výběr kompromisní varianty oproti náhodnému nebo intuitivního postupu. Firma INCO engineering doposud tyto dodavatele (i jiné) vybírala právě s převažujícím podílem pocitového a intuitivního hodnocení.

Využití této metody pro ruční zpracování je omezeno na méně rozsáhlé úlohy. Pro složitější výpočty by bylo vhodné využít počítačové softwary (Excel).

Po dohodě s managementem firmy jsme se rozhodli uplatnit tuto metodu při příštím výběru z více dodavatelů tak, že mně budou zaslána data pro zpracování výběru mnou navrženou metodou a výsledek bude porovnán s výsledkem výběru, který firma používala dosud, aby bylo možné zjistit dopady metod VAV.

Výpočet pro doporučení dodavatele hřídělí byl zvolen proto, že hříděle jsou jednou z nejdůležitějších a zároveň nejdražších součástí těžebních strojů, a proto je účelné výpočet provést.

### 4.3 Závěr

Cílem této práce bylo, v úvodní části, seznámení s problematikou vícekritériálního rozhodování, rozbor modelu VAV, zvláštní vlastnosti variant, metody stanovování vah kritérií a informace s jakými se v modelech VAV pracuje. Vše výše uvedené byl podklad pro finální doporučení dodavatele hřídělí pro těžní stroje pro firmu INCO engineering.

Firma INCO engineering doposud vybírala dodavatele pouze na základě ceny a zkušeností s jednotlivými dodavateli. Při výběru kritérií pro model VAV firma ochotně spolupracovala a společně s vedením podniku jsme vybrali celkem 25 kritérií. Tyto se staly podkladem pro finální doporučení dodavatele.

Kritériální matice byla zvolena tak, aby odpovídala kardinální informaci (s bodovou škálou 1–10), což se stalo podkladem pro výběr metody pracující právě na základě kardinální informace.

Metoda váženého součtu – ta, která byla vybrána pro finální doporučení dodavatele, má za úkol najít variantu, která přináší rozhodovateli maximální užitek. Současně je vhodná i pro poměrně rozsáhlejší úlohy (například zde – 25 kritérií a 5 dodavatelů), je však výhodné použít pro výpočet počítačový software.

Po určení vah a propočítání metodou váženého součtu již bylo možné doporučit dodavatele hřídelí. Kompromisní variantou se stala varianta Dodavatel 1, neboť její funkce užítku je ze všech pěti dodavatelů maximální.

Současně bylo možné po výpočtu stanovit pořadí jednotlivých variant. To je vhodné stanovit pro případ, že by firma z jakéhokoli důvodu nemohla (nechtěla) zvolit tuto kompromisní variantu. Mohlo by se také stát, že varianty těsně následující za kompromisní variantou (varianta Dodavatel 2 a Dodavatel 3), by se mohly v některých kritériích zlepšit, a tím by se mohly stát novou variantou kompromisní.

Vypočtená kompromisní varianta byla doporučena firmě INCO engineering k realizaci a firma souhlasila s doporučením. Následně bylo domluveno, že pro další výběr součástí strojů, které firma vybírá (a u kterých to má smysl), se na mě obrátí pro nový výpočet kompromisní varianty.

Práce tedy splnila účel a firma může do budoucna počítat s doporučením v problematice vícekritériálního rozhodování.

## 5 Seznam použitých zdrojů

- Boland, Richard J. a Fred, Collopy. 2004.** *Managing as Designing*. Stanford : Stanford university press, 2004. 0-8047-4674-5.
- Bouška, Jiří. Praha.** *Interaktivní postupy rozhodování*. 1984 : Academia, Praha.
- Deb, Kalyanmoy. 2001.** *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. New York : John Wiley, 2001. 04-718-7339-X.
- Dušek, Jiří. 2018.** *Normy mank přirozených úbytků, úhynů zvířat a ztraceného zásob: praktický návod s podklady na jejich určení*. Praha : Grada Publishing, 2018. 978-80-247-2773-8.
- Fotr, Jiří a Souček, Ivan. 2015.** *Tvorba a řízení portfolia projektů: Jak optimalizovat, řídit a implementovat investiční a výzkumný program*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2015. 978-80-247-9939-1.
- Houška, Milan.** *Vícekritériální analýza variant*. Praha : autor neznámý.
- INCO Engineering, s.r.o.** O nás. *Web INCO Engineering, s.r.o.* [Online] [Citace: 19. Prosinec 2018.] incoengineering.cz.
- Jablonský, Josef. 2007.** *Operační výzkum*. Praha : Professional publishing, 2007. 978-80-86946-44-3.
- Jayaswal, Bijay K., C., Patton Peter a Forman, Ernest H. 2007.** *The Analytic Hierarchy Process (AHP) in Software Development (Digital Short Cut)*. New Jersey : Pearson Education, 2007. 0-13-235135-8.
- Kahraman, Cengiz. 2008.** *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments*. Istanbul : Springer, 2008. 978-0-387-76812-0.
- Korecký, Michal a Václav, Trkovský. 2011.** *Management rizik projektů: se zaměřením na projekty v průmyslových podnicích*. Praha : Grada, 2011. 978-80-247-3221-3.
- Liu, Hu-Chen. 2016.** *FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods*. New York : Springer, 2016. 978-981-10-1465-9.
- Machalová, Jitka. 2007.** *Prostorově orientované systémy pro podporu manažerského rozhodování*. Praha : C.H. Beck, 2007. 978-80-7179-463-9.
- Mikuláščík, Milan. 2015.** *Manažerská psychologie: 3., přepracované vydání*. Praha : Grada Publishing, 2015. 978-80-247-4221-2.
- O nás. *INCO Engineering, s.r.o.* [Online] incoengineering.cz.
- Pomerol, Jean-Charles a Barba-Romero, Sergio. 2012.** *Multicriterion Decision in Management: Principles and Practice*. New York : Springer, 2012. 978-1-4615-4459-3.
- researchgate.net. *Figure*. [Online] researchgate. [Citace: 21. Prosinec 2018.] [https://www.researchgate.net/figure/General-hierarchy-structure-of-AHP\\_fig2\\_264436283](https://www.researchgate.net/figure/General-hierarchy-structure-of-AHP_fig2_264436283).
- researchgate.net.** researchgate.net. *web researchgate*. [Online] researchgate.net. [Citace: 21. Prosinec 2018.] researchgate.net.
- Růčková, Ivana. 2011.** *Srovnání rozhodovacích strategií v GIS*. Olomouc : autor neznámý, 2011.
- Scholleová, Hana. 2009.** *Investiční controlling*. Praha : Grada Publishing, 2009. 978-80-247-2952-7.
- Simons, Herbert A. 1977.** *New science if management decision*. New Jersey : Harper and Brothers, 1977. 0136161367.
- Stanković, Jelena, a další. 2017.** *Tools and Techniques for Economic Decision Analysis*. Hershey : IGI Global, 2017. 2327-5677.
- Štěpán, Jan. 2011.** *Logika a právo*. Praha : C.H. Beck, 2011. 978-80-7400-373-8.
- Šubrt, Tomáš a kolektiv. 2015.** *Ekonomicko-matematické metody 2. upravené vydání*. Plzeň : Aleš Čeněk, s.r.o., 2015.

- Taušl Procházková, Petra a Eva, Jelínková. 2018.** *Podniková ekonomika - klíčové oblasti.* Praha : Grada Publishing, 2018. 978-80-271-0689-9.
- Tichý, Milík. 2006.** *Ovládání rizika: analýza a management.* Praha : C. H. Beck, 2006. 80-717-9415-5.
- Triantaphyllou, Evangelos. 2000.** *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study.* Boston : Springer-Verlag New York Inc., 2000. 978-1-4757-3157-6.
- Wagner, Jaroslav. 2009.** *Měření výkonnosti: jak měřit, vyhodnocovat a využívat informace o podnikové výkonnosti.* Praha : Grada Publishing, 2009. 978-80-247-2924-4.
- Zardari, Noorul Hassan, a další. 2015.** *Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management.* New York : Springer, 2015. 978-3-319-12585-5.