

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra systémového inženýrství**



**Bakalářská práce**

**Vícekriteriální rozhodování ve firemní praxi**

**Pavel Schneider**

© 2019 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavel Schneider

Informatika

Název práce

**Vícekriteriální rozhodování ve firemní praxi**

Název anglicky

**Multiple-criteria decision-making in bussines enviroment**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je provedení výběrového řízení na nýtovací automat prostřednictvím metod vícekriteriální analýzy variant. Dílčími cíli je analýza reálného výběrového řízení, které už proběhlo, analýza cílů a preferencí uživatelů, formulace vhodných kritérií a výběr metody pro výběr kompromisní varianty. Výsledky výpočtu budou následně intepretovány a porovnány se skutečně vybraným strojem.

### Metodika

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. První část práce obsahuje teoretickou část, ve které jsou popsány pojmy a metody vícekriteriálního rozhodování na základě odborné literatury.

Druhá praktická část obsahuje krátké seznámení s firmou, z níž byla data pro výpočty čerpána. Následuje formulace kritérií a jejich vah, výběr vhodné metody vícekriteriálního rozhodování a vlastní výpočty. V závěru je výsledek výpočtů zhodnocen a porovnán s výběrem firemní komise.

**Doporučený rozsah práce**

35-40 stran

**Klíčová slova**

Vícekritériální rozhodování, firemní praxe, vícekritériální analýza variant, kritérium, nýtovací automat

---

**Doporučené zdroje informací**

BROŽOVÁ, Helena, ŠUBRT, Tomáš, HOUŠKA, Milan. Modely pro řízení znalostí a podporu rozhodování.

V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. 117 s. ISBN 978-80-213-1633-1.

FIALA, Petr. Modelování a analýza produkčních systémů. Praha: Professional Publishing, 2002. 259 s. ISBN 80-86419-19-3.

JABLONSKÝ, Josef. Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování. Praha:

Professional Publishing, 2002. 323 s. ISBN 80-86419-42-8.

ŠTĚDRŮN, Bohumír, PALÍŠKOVÁ, Marcela, MOOS, Petr, HANDLÍŘ, Jiří, SVÍTEK, Miroslav, PASTOR, Otto,

SVOBODA, Libor, 2015. Manažerské rozhodování v praxi. V Praze: C.H. Beck. 275 s. ISBN

978-80-7400-587-9.

ŠUBRT, Tomáš. Ekonomicko-matematické metody. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011.

351 s. ISBN 978-80-7380-345-2.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – PEF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Ludmila Dömeová, CSc.

**Garantující pracoviště**

Katedra systémového inženýrství

---

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2018

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2018

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 31. 10. 2018

---

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vícekriteriální rozhodování ve firemní praxi" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury 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 14.3.2019

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval mé vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ludmile Dömeové Csc. za vedení této práce a ochotu pomoci. Dále bych chtěl poděkovat kolegům ze společnosti Aero Vodochody Aerospace a.s. za poskytnutá data a konzultace.

# Vícekriteriální rozhodování ve firemní praxi

---

## Multiple-criteria decision-making in bussines enviroment

### **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou výběrového řízení, které proběhlo v roce 2012 ve firmě Aero Vodochody Aerospace a.s. na nákup a výběr CNC nýtovacího automatu za pomoci metody operačního výzkumu vícekriteriálního rozhodování.

Teoretické východisko se zabývá rozhodováním s návazností na vícekriteriální rozhodování. Vymezuje základní pojmy a vybrané metody jako přípravu pro analýzu a výpočty v části vlastní práce.

Vlastní práce v úvodu popisuje firmu, problematiku k řešení a následnou aplikaci vybraných metod z teoretické části. Pro stanovení vah kritérií byla aplikována Saatyho metoda párových porovnání a pro samotný výběr kompromisní varianty metoda TOPSIS.

Kompromisní varianta je porovnána s vybraným CNC nýtovacím automatem a konzultována s výběrovou komisí. Na závěr je doporučeno využití metod vícekriteriálního rozhodování pro kapitálově náročné investice.

**Klíčová slova:** vícekriteriální rozhodování, vícekriteriální analýza variant, nýtovací automat, kritérium, firemní praxe

## **Abstract**

Bachelor thesis deals with analysis of selection proces which was held in year 2012 in company Aero Vodochody Aerospace a.s. for the purchase of the CNC automatic riveting machine per methods of operating research multiple-criteria decision making.

The theoretical part of bachelor thesis describe proces of desicion making with continuity on multiple-criteria decisions making. Defines basic concepts and selected methods as knowledge for the practical part of thesis.

In the introduction of practipal part is getting to know the company, problem to analyse and then aplication of methods from theorecital part. For calculating of the weights is used Saaty's pair comparison method and for selection of compromise solution TOPSIS method.

Result is compared with selected CNC automatic riveting machine and discussed with selection committee. As conclusion is recomendod to apply multipli-criteria methods on financially demanding investments.

**Keywords:** multiple criteria decision making, multiple criteria analysis of variant, automatic riveting machine, criterion, firm practise

## Obsah

1	Úvod.....	5
2	Cíl práce a metodika .....	6
2.1	Cíl práce.....	6
2.2	Metodika .....	6
3	Teoretická východiska .....	7
3.1	Teorie rozhodování .....	7
3.1.1	Rozhodovací proces .....	8
3.1.2	Prvky rozhodování .....	9
3.1.3	Rozhodování podle míry informace .....	10
3.2	Metody rozhodování .....	11
3.2.1	Empirické metody.....	12
3.2.2	Exaktní metody .....	13
3.2.3	Heuristické metody .....	13
3.3	Vícekritériální analýza variant.....	13
3.3.1	Základní pojmy .....	14
3.4	Metody stanovení vah kritérií .....	15
3.4.1	Stanovení vah bez informace o preferenci.....	15
3.4.2	Stanovení vah s ordinální informací .....	16
3.4.3	Stanovení vah s kardinální informací .....	17
3.5	Metody výběru kompromisní varianty .....	19
3.5.1	Metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií .....	20
3.5.2	Metody vyžadující aspirační úrovně kritérií .....	21
3.5.3	Metody vyžadující ordinální informaci .....	22
3.5.4	Metody vyžadující kardinální informaci.....	22
4	Vlastní práce .....	26
4.1	Popis firmy.....	26
4.2	Popis problému .....	26
4.3	Aspirační úrovně.....	26
4.3.1	Požadavky na stroj .....	27
4.3.2	Vrtání a zahlubování .....	27
4.3.3	Instalace spojovacího prvku.....	27



4.3.4	Údržba a ostatní .....	28
4.3.5	Bezpečnost práce .....	28
4.4	Popis kritérií.....	28
4.4.1	K1 – Rychlost procesu instalace spojovacích prvků .....	28
4.4.2	K2 – Cena .....	28
4.4.3	K3 – Počet kazet na spojovací prvky.....	29
4.4.4	K4 – Kapacita kazet.....	29
4.4.5	K5 – Doba instalace stroje.....	29
4.4.6	K6 – Rozměr základny .....	29
4.4.7	K7 – Operační rozsah .....	30
4.4.8	K8 – Technologicky nutná prodleva.....	30
4.5	Popis variant .....	30
4.5.1	Broetje-Automation IPAC .....	31
4.5.2	Electroimpac ARM.....	32
4.5.3	Gemcor G2000.....	33
4.5.4	Gemcor G14.....	34
4.5.5	Spie PRECA 1000 .....	34
4.5.6	Townend Aerospace ITC .....	35
4.6	Výběr CNC stroje .....	36
4.6.1	Stanovení preferencí kritérií .....	37
4.6.2	Výběr kompromisní varianty metodou TOPSIS.....	38
5	Výsledky a diskuze .....	40
6	Závěr .....	42
7	Seznam použitých zdrojů.....	43
8	Přílohy.....	45
	Seznam obrázků.....	46
	Seznam tabulek .....	46
	Seznam vzorců.....	47
	Seznam grafů .....	48
	Seznam matic.....	48

# 1 Úvod

Rozhodování jako proces, se kterým se každý člověk setkává na denní bázi, jak v osobním, tak v profesním životě, je nedílnou součástí našich životů. V jednodušších případech se při rozhodování řídíme hlavně intuicí a naším mentálním modelem. To však nemusí vždy vést ke kvalitnímu závěru našeho rozhodnutí. Zejména v profesním životě, kdy špatná rozhodnutí a výběr mnohdy rozhodují o nemalých finančních prostředcích právnických osob, je žádoucí, aby rozhodovatel vybíral pouze optimální varianty z množiny řešení.

Zvolit vždy pouze optimální varianty rozhodně není nic jednoduchého, vzhledem ke komplexnímu posouzení dané situace. Většina firem realizuje své aktivity ve stále složitějších podmínkách a vyřešení problému znamená přijetí hlavně správných rozhodnutí. Právě na profesní úrovni se často při významných rozhodnutích nabízí aplikovat metody vícekriteriálního rozhodování.

Vícekriteriální rozhodování je poměrně mladá vědní disciplína, jejímž aplikováním si můžeme značně pomoci při výběru optimálního konečného rozhodnutí. Výstupem vícekriteriální analýzy je kompromisní varianta, která respektuje všechna uvažovaná kritéria. Tato varianta nemusí být vždy zvolena, avšak může rozšířením obzorů ovlivnit konečný výběr rozhodovatele.

Volbou pro analýzu výběrového řízení, které se uskutečnilo v roce 2012, je tedy porovnání kompromisní varianty vypočítané metodami vícekriteriální analýzy s variantou skutečně zvolenou firemní výběrovou komisí.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem bakalářské práce je provedení výběrového řízení na CNC nýtovací automat prostřednictvím metod vícekriteriální analýzy variant. Dílčími cíli je analýza reálného výběrového řízení, které už proběhlo, analýza cílů a preferencí uživatelů, formulace vhodných kritérií a výběr metody pro výběr kompromisní varianty.

Výsledky výpočtu budou následně interpretovány a porovnány se skutečně vybraným strojem.

### **2.2 Metodika**

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. První část práce obsahuje teoretickou část, ve které jsou popsány pojmy a metody rozhodování s návazností na vícekriteriální rozhodování. Vše je interpretováno na základě odborné literatury.

Druhá praktická část obsahuje krátké seznámení s firmou, z níž byla data pro výpočty čerpána. Následuje formulace kritérií a jejich vah, popis variant, výběr vhodné metody vícekriteriálního rozhodování a vlastní výpočty.

V závěru je výsledek výpočtů zhodnocen a porovnán s výběrem firemní komise.

### 3 Teoretická východiska

Teoretická část práce popisuje obecnou charakteristiku rozhodování a její teorii, sloužící jako průprava k praktické části. Najdeme zde teorii rozhodování, základní pojmy a metody rozhodování s návazností na jednotlivé modely vícekritériálního rozhodování a postupy pro stanovení preferencí variant kritérií.

#### 3.1 Teorie rozhodování

*„Rozhodovací teorie představuje obecný přístup pro tvorbu rozhodnutí a často se stává užitečným základem pro široké spektrum manažerských procesů“*

(Duchoň, 2008, p. 137)

Rozhodování je jednou z nejdůležitějších aktivit, které manažeři realizují na denní bázi. Každé rozhodnutí značně ovlivňuje fungování a budoucnost organizací, jejichž zdraví se odráží právě ve kvalitě řešení těchto procesů. (Štědroň a kol., 2015)

Rozlišujeme dvě stránky rozhodovacích procesů, které probíhají na různých úrovních řízení, a to stránky:

- menoritní (věcnou, obsahovou) - reflektující jednotlivé odlišnosti rozhodovacích procesů,
- formálnělogickou (procedurální) - jednotlivé rozhodovací procesy jsou spojeny rámcovým postupem řešení neboli určitou procedurou.

(Fotr & Dědina, 1997)

Rozhodovací procesy mají i společné rysy a vlastnosti, které je spojují. Většinou se jedná o etapy rozhodování, použité metody a nástroje, potom hovoříme o tzv. procedurální stránce a instrumentální stránce. Sociálně-psychologická teorie rozhodování se zaměřuje především na subjekt a jeho chování, které bere jako základní rozhodovací prvek. Kvantitativně orientované teorie rozhodování jsou založeny na aplikaci matematických modelů a metod při řešení rozhodovacího problému. Samotnou disciplínou je potom rozhodování v organizacích. Odlišnosti lze také uvést na normativním, respektive deskriptivním charakteru rozhodování. Normativní teorie poskytuje návody na řešení rozhodovacích problémů. Jedná se tedy o tvorbu určitých norem řešení pro rozhodovací problémy, jejichž aplikace umožní vyřešit rozhodovací problém v požadované kvalitě. Naproti tomu deskriptivní teorie je zaměřena na již proběhnuté rozhodovací procesy a jejich analýzy. (Fotr & Dědina, 1997)

Preferenční mechanismus lze znázornit pomocí funkce vyjadřující míru užitku, takovou funkci lze pak vyjádřit kardinální či ordinální mírou. (Duchoň, 2008)

### 3.1.1 Rozhodovací proces

Rozhodovací proces lze dekomponovat do vzájemně závislých a navazujících činností, které se označují jako etapy či fáze těchto procesů. Je to tedy posloupnost vzájemně provázaných činností, jenž vedou k nalezení optimálního řešení.

(Fotr & Dědina, 1997) (Ramík, 1999)

Můžeme se setkat s pojmem *rozhodovací proces v širším smyslu*, tj. proces zahrnující všechny etapy rozhodovacího procesu. Pokud hovoříme o *rozhodovacím procesu v užším smyslu*, tak již známe rozhodovací varianty, kritéria a cíle.

(Ramík, 1999)

Dle Fotra s Dědinou (1997) lze podrobněji rozdělit rozhodovací proces na níže citovaných osm etap. Autoři Štědroň a kol. (2015) rozlišují například až etap dvanáct.

1. **Identifikace rozhodovacích problémů** – vstupem jsou informace o firmě a jejím okolí, které jsou analyzovány a vyhodnocovány. Výstupem je identifikace určitých situací vyžadující řešení.
2. **Analýza a formulace rozhodovacích problémů** – v této etapě jde o vyjasnění problémové situace, určení prvků problému, příčin vzniku a cílů jeho řešení. Výstupem je formulace rozhodovacího problému.
3. **Stanovení kritérií hodnocení variant** – zde se určují kritéria, podle kterých se budou posuzovat a hodnotit navržené varianty.
4. **Tvorba variant řešení problémů** – cílem této etapy je vytvoření množiny variant řešení problému.
5. **Stanovení důsledků** – v této etapě se analyzují předpokládané dopady jednotlivých variant z hlediska zvolené preference kritérií hodnocení.
6. **Hodnocení důsledků** – jedná se o výběr varianty určené k realizaci. Výsledek určí optimální variantu nebo jejich preferenční uspořádání.
7. **Realizace zvolené varianty** – v této etapě se aktivují potřebné zdroje na zahájení a realizaci rozhodnutí.
8. **Kontrola výsledků** – v poslední etapě se stanovují odchylky skutečně dosažených výsledků realizace vzhledem ke stanoveným cílům.

(Štědroň a kol., 2015) (Fotr & Dědina, 1997)

### **3.1.2 Prvky rozhodování**

Autoři Dostál a kol. (2005), Ramík (1999) a Fotr s Dědinou (1997) řadí mezi základní rozhodovací prvky:

- cíl rozhodování,
- subjekt a objekt rozhodování,
- kritéria,
- varianty,
- stavy světa.

#### **Cíl rozhodování**

Cíl je stav, kterého chceme dosáhnout. Cíle mohou být taktické či strategické, mohou být ve vzájemném konfliktu nebo se doplňovat. (Dostál a kol., 2005)

Vyjádření cílů může být číselné (kvantitativní) nebo slovně popisné (kvalitativní). (Fotr & Dědina, 1997)

#### **Subjekt a objekt rozhodování**

Subjektem je rozhodovatel, který volí variantu určenou k realizaci. Jedná se o jednotlivou osobu nebo skupinu lidí.

Objektem je zpravidla oblast organizační jednotky, v jejímž rámci se problém formuloval, stanovil cíl řešení a jehož se rozhodování týká. (Dostál a kol., 2005)  
Ramík (1999) objekt rozhodování označuje jako systém, v němž je formulován rozhodovací problém, a uvádí ho jako protipól subjektu.

#### **Stavy světa**

Stavy světa vnímáme jako budoucí vzájemně se vylučující situace, které mohou po realizaci varianty rozhodování nastat a které ovlivňují důsledky této varianty vzhledem k některým kritériím hodnocení. (Dostál a kol., 2005)

#### **Varianty**

Varianty řešení představují potenciaální způsob jednání rozhodovatele ke splnění stanovených cílů. Množina všech možných variant řešení je někdy označována jako rozhodovací pole. (Fotr & Dědina, 1997)

#### **Kritérium**

Kritéria jsou hlediska zvolená rozhodovatelem, posuzují výhodnosti jednotlivých variant rozhodování z hlediska dosažení nebo stupně plnění dílčích cílů.

Rozdělují se podle měření výsledků hodnocení a způsobu vyjadřování následovně:

- kvalitativní – hodnoty lze vyjádřit číselně nebo relativním ohodnocením,
- kvantitativní – hodnoty lze vyjádřit pouze verbálně. Určujeme stupeň kvality s popisem její intenzity.

(Píšková, 1993)

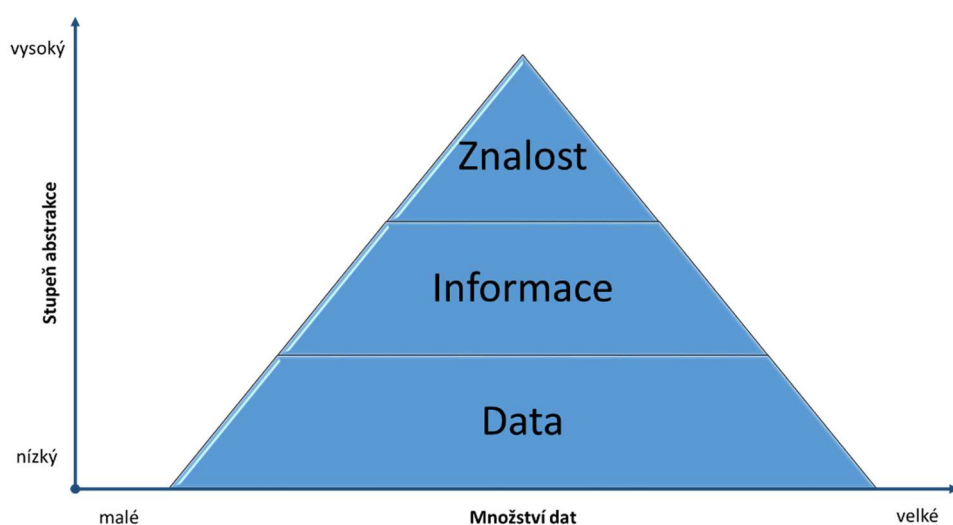
Fotr a Dědina (1997) dále rozlišují kritéria podle povahy na:

- kritéria nákladového typu – rozhodovatel preferuje nižší hodnoty, např. náklady,
- kritéria výnosového typu – rozhodovatel preferuje vyšší hodnoty, např. zisk.

### 3.1.3 Rozhodování podle míry informace

Rozhodování probíhá za podmínek jistoty, nejistoty a rizika v závislosti na námí známé informaci. Sběr dat, znalostí a informací snižuje entropii a tím mění podmínky, ve kterých se rozhodujeme. Data tedy můžeme chápat jako řetězce numerických nebo alfanumerických znaků. Informace jsou data, která jsou organizována tak, že jim příjemce rozumí a jsou pro něho smysluplná. Znalost pak lze definovat jako dovednosti, zkušenosti, poznání atd. Rozdělení dat, informací a znalostí je znázorněno na obrázku č 1. Je nutné si však uvědomit, že jak malé množství informací, tak i velké množství informací není příznivé. (Dostál a kol., 2005)

Obrázek 1: Vztah mezi stupněm abstrakce a množstvím dat, informací a znalostí



(Zdroj: Dostál, 2005; Zpracování: Vlastní)

### **Rozhodování za jistoty**

O rozhodování za jistoty hovoříme tehdy, máme-li informace o stavech světa a důsledcích variant, s ohledem na jednotlivá kritéria. (Ramík, 1999)

Ve výplatní matici uvažujeme pouze o realizovatelných stavech okolností a podle velikosti výplat lze jednoznačně určit nejvýhodnější alternativu podle charakteristik či jednotek. (Šubrt a kol., 2011)

Vícekritériální rozhodování, kterému se blíže věnujeme v dalších kapitolách, patří podle míry informace do rozhodování za jistoty.

### **Rozhodování za nejistoty**

Při rozhodování za nejistoty je hlavním úskalím určení pravděpodobnosti výskytu stavů světa a právě při takovém rozhodování s nedostatkem či nekvalitou informací nelze určit obecný postup pro výběr optimální strategie. (Duchoň, 2008)

Šubrt (2011) uvádí, že na základě rozhodovatelova optimismu, respektive pesimismu, jsou hodnoceny výplaty či ztráty zvolené metody a jako nejvyužívanější cituje kritéria Waldovo, Savageovo, Bernoulli-Laplaceovo a Hurwitszovo, kterým se ve své publikaci blíže věnuje.

### **Rozhodování za rizika**

V případě, že má rozhodovatel k dispozici informace o vývoji současné situace do budoucna, z kterých lze vyvodit pravděpodobnost realizace jednotlivých stavů světa, mluví o rozhodování za rizika. K určení pravděpodobností se často využívá zkušeností z minulých let nebo názorů expertů. Je nám tedy znám vektor rizika. (Šubrt a kol., 2011)

## **3.2 Metody rozhodování**

V této kapitole je popsána separace metod rozhodování podle Žáčka (2015), který je rozděluje následovně:

- empirické metody,
- exaktní metody,
- heuristické metody.



### 3.2.1 Empirické metody

*„Empirické metody rozhodování jsou metodami založenými na praktické zkušenosti, míře poznání, získaných vědomostí, zručnosti a intuici samotných manažerů – rozhodovatelů“.* (Žáček, 2015, p. 20)

Základní empirickou metodou je „metoda pokusu a omylu“, kdy je rozhodovateli nastíněn pouze cíl, kterého má dosáhnout. Jedná se o množinu rozhodnutí s vyhodnocením, kde minimální odchylka od požadovaného stavu určuje ideální variantu řešení problému. (Žáček, 2015)

#### **Empiricko-intuitivní**

Při empiricko-intuitivních metodách rozhodovatel uplatňuje své vlastní zkušenosti a intuice. K tomuto způsobu rozhodování se manažer uchyluje zejména v případech, kdy neexistuje dostatek relevantních informací, manažer má s řešeným problémem bohaté zkušenosti a při rozhodování v časovém deficitu. (Žáček, 2015)

#### **Empiricko-analytické**

Žáček (2015) označuje empiricko-analytické metody jako nejčastěji využívané metody při rozhodování manažerů v praktickém pojetí. Tyto metody kombinují jak čistě empirický charakter metod, tak cílevědomě získané a zpracované informace. V praxi to znamená, že získané informace, které nemají expertní charakter, manažer analyzuje a v konečném důsledku vyhodnotí za pomoci svých vlastních zkušeností a intuice. (Žáček, 2015)

#### **Expertní**

Expertní metody jsou založené na přebírání znalostí od odborníků, kteří se vyjadřují k danému problému. K řešení komplexních problémů využívají odborníci expertních systémů, které je schopen ovládat právě jen specialista v daném oboru. (Duchon, 2008)

Do těchto metod patří:

- delfská metoda,
- brainstorming,
- brainwriting,
- syntaktická metoda,
- metoda scénářů.

(Žáček, 2015)

### 3.2.2 Exaktní metody

Exaktní metody mají svůj základ v přesných vědeckých postupech opírajících se o matematickou logiku. Součástí jsou právě postupy operačního výzkumu, mezi které je řazena i vícekriteriální analýza variant popsaná v kapitole 3.3.

Do těchto metod jsou zařazeny:

- matematické programování,
- vícekriteriální rozhodování,
- teorie grafů,
- optimalizace sekvenčních procesů,
- distribuční úlohy,
- teorie her.

(Žáček, 2015)

### 3.2.3 Heuristické metody

Heuristika je zkusmé řešení problému. Tyto metody se nejčastěji využívají v případech, kde neexistuje přesný deterministický algoritmus, jak nalézt řešení. Další možností je, že známe postup a řešení, avšak jeho provedení není kvůli jeho náročnosti či komplexnosti přijatelné. Součástí heuristických metod jsou:

- metody rozhodovací analýzy,
- metoda rozhodovacího stromu,
- metoda simulovaného žíhání,
- generické algoritmy,
- umělé neuronové sítě.

(Žáček, 2015)

## 3.3 Vícekriteriální analýza variant

Ve vícekriteriální analýze variant jde o komplexní posouzení situace, kde uvažujeme více hledisek (kritérií), podle kterých posuzujeme množinu variant. Kritéria bývají v praxi protichůdná a tak použití jednotlivých hledisek povede k výběru různých optimálních řešení. Z tohoto hlediska je pak cílem vícekriteriální analýzy variant nalezení kompromisního řešení. (Štědroň a kol., 2015)

Fiala (2002) uvádí, že obecně se ve vícekritériální analýze variant používá za účelem optimalizace řešení těchto postupů: agregace kritériálních funkcí do jediné kritériální funkce, interaktivní metoda pro nalezení kompromisního řešení nebo nalezení množiny všech nedominovaných řešení. (Fiala, 2002)

### **3.3.1 Základní pojmy**

#### **Preference kritéria**

Vyjádření důležitosti jednoho kritéria s porovnáním s ostatními se nazývá preference kritéria. Šubrt (2011) vidí stanovení preferencí kritérií jako nejobtížnější úkol, neboť jejich určení je závislé na subjektivním názoru rozhodovatele. (Šubrt a kol., 2011)

#### **Aspirační úroveň**

Aspirační úroveň vyjadřuje hranici mezi akceptovatelnými a neakceptovatelnými kritérii, to znamená, že rozhodovatel určí hodnoty kritérií, kterých má být alespoň dosaženo. Tato úroveň neudává, které kritérium je důležitější před jiným, ale pouze čeho má být dosaženo. Rozhodovatel může interaktivně vyjadřovat svoji preferenci a díky tomu snižovat či zvyšovat objem variant. (Fiala, 2013)

#### **Váha kritéria**

Váha kritéria je numerické ohodnocení jednotlivých kritérií. Výstupem jednotlivých vah kritérií je obecně interval  $\langle 0;1 \rangle$ , udávající relativní důležitost kritéria. Sečtením všech vah kritérií dostaneme hodnotu jedna, v procentuálním vyjádření tedy 100%. (Šubrt a kol., 2011) (Jablonský, 2002)

#### **Nedominovaná varianta**

Variantu je možné nazvat nedominovanou za předpokladu, že její řešení nelze dominovat jinou variantou, to znamená, která by byla lepší nebo stejně hodnocená z hlediska všech kritérií. (Jablonský, 2002)

#### **Paretovska varianta**

Paretovska varianta není dominovaná žádnou jinou variantou. Každá z paretovska variant může dosáhnout lepšího hodnocení pouze za předpokladu zhoršení jiného kritéria, je nazývána též jako efektivní. (Brožová a kol., 2007)

### **Ideální a bazální varianta**

Podle Fialy (2013) za ideální variantu můžeme považovat tu, která splňuje ve všech kritériích logicky nejlepší možné hodnoty. Tato varianta může být hypotetická či reálná a značí se znakem H.

Protějškem je bazální varianta, která obdobně jako ideální může být jak hypotetická, tak reálná a dosahuje logicky nejhorších hodnot. Značí se znakem D. (Fiala, 2013)

### **Kompromisní varianta**

Kompromisní varianta je cílem rozhodování vícekritériálních úloh, přičemž hledaná varianta je často ovlivněna preferencí rozhodovatele mezi navzájem protikladnými kritérii. (Jablonský, 2002)

## **3.4 Metody stanovení vah kritérií**

Štědroň a kol. (2015) považují za skutečnost, že většina metod vícekritériálního rozhodování požaduje za vstup váhy kritérií, a proto je jedním z hlavních ovlivňujících faktorů právě volba metody pro výpočet vah kritérií. Rozlišujeme rozdělení podle typu informace, tedy je-li rozhodovatel schopen či neschopen číselně vyjádřit své názory na preferenci. (Štědroň a kol., 2015)

### **3.4.1 Stanovení vah bez informace o preferenci**

#### **Shodná váha**

V případě, že nemáme žádnou informaci o preferenci kritérií od rozhodovatele, nebo se rozhodovatel nedokáže sám rozhodnout, tak pojednáváme o metodě shodných vah.

Všechna kritéria mají stejnou váhu a zároveň není stanoveno, které kritérium je důležitější. Kritéria mají stejnou váhu dle vzorce č. 1.

Vzorec 1: Shodná váha

$$v_i = \frac{1}{n}, i = 1, 2, \dots, n; \text{ kde } n \text{ je počet kritérií}$$

(Brožová a kol., 2007)

### 3.4.2 Stanovení vah s ordinální informací

Ordinální informace udává pořadí mezi jednotlivými kritérii, tedy jaká varianta je lepší než jiná varianta, nikoliv o kolik.

#### Metoda pořadí

U této metody se nejdříve seřadí kritéria podle důležitosti. Nejdůležitější kritérium je označeno číslem  $k$ , kde  $k$  je počet kritérií, a nejméně důležitému kritériu je přiřazena hodnota 1. Pro zbylá seřazená kritéria postupujeme podle vztahu  $k-1, k-2 \dots k-n$  dokud  $k-n=2$ . Je-li  $i$ -tému kritériu přiřazeno číslo  $b_i$ , potom se váha  $i$ -tého kritéria vypočítá ze vzorce č. 2:

Vzorec 2: Stanovení vah bodovací metodou

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i}, i = 1, 2, \dots, n$$

(Brožová a kol., 2007)

#### Fullerův trojúhelník

Tato metoda se řadí do párového srovnávání, kde je rozhodovateli předloženo trojúhelníkové schéma dle obrázku č. 2.

Obrázek 2: Schéma fullerova trojúhelníku

1	1	1	.....	1
2	3	4	.....	k
	2	2	.....	2
	3	4	.....	k
.....				
				k-2
				k-2
				k-1
				k
				k-1
				k

(Zdroj: Fiala 2013, Zpracování: Vlastní)

Rozhodovatel poté volí z každé dvojice kritérium, které považuje za důležitější. Sumu zvolených hodnot značíme  $n_i$ . Váha kritérií se počítá dle vzorce č. 3:

Vzorec 3: Výpočet i-tého kritéria pro Fullerův trojúhelník

$$v_i = \frac{n_i}{N}, i = 1, 2, \dots, k$$

(Fiala, 2013)

### 3.4.3 Stanovení vah s kardinální informací

Kardinální informace udává stejnou informaci jako ordinální, avšak obohacenou o vzdálenost jednotlivých vah mezi sebou. Vyjadřuje, zda je zvolená varianta lepší než jiná zvolená varianta a o kolik.

#### Metoda bodovací

Tato metoda je založena na předpokladu, že jsme schopni kvantitativně ohodnotit důležitost jednotlivých kritérií. Z předem stanoveného intervalu, např.  $\langle 1, 100 \rangle$ , ohodnotíme body číslo  $b_i$ . Platí zde pravidlo jako u metody pořadí a to, že čím je kritérium důležitější, tím je mu přiřazena vyšší hodnota. Stejnou hodnotu je možné přiřadit dvěma či více kritériím, a díky tomu umožňuje tato metoda diferencovanější vyjádření preferencí než metoda pořadí. Výpočet vah je shodný jako u metody pořadí, tedy výpočet provádíme podle vzorce č. 2. (Brožová a kol., 2007).

Píšková (1993) zařazuje tuto metodu mezi jednodušší metody přímé a doporučuje opatřit každou bodovou stupnici deskriptorem (slovním popisem významu jednotlivých stupňů bodové stupnice). (Píšková, 1993)

#### Saatyho metoda párového srovnávání

Jablonský (2002) považuje Saatyho metodu jako propracovanější a nejčastěji používanou metodu pro stanovení vah kritérií. Obdobně jako u Fullerova trojúhelníku se jedná o metodu párového srovnávání. Stupeň důležitosti kritéria určuje rozhodovatel porovnáním dvou kritérií, přičemž preferovanému kritériu zvolí hodnotu na stupnici od 1 do 9 a méně preferovanému kritériu převrácenou hodnotu preferovaného kritéria. Pokud mají kritéria stejnou váhu, přiřadí se oběma hodnota 1. Vše je znázorněno v tabulce č. 1. (Jablonský, 2002)

Tabulka 1: Saatyho rozdělení odhadu vah kritérií

Hodnota	Popis
1	Kritéria jsou stejně důležitá
3	První kritérium je slabě důležitější než druhé
5	První kritérium je silně důležitější než druhé
7	První kritérium je velmi silně důležitější než druhé
9	První kritérium je absolutně důležitější než druhé

(Zdroj: Jablonský 2002, Zpracování: Vlastní)

Takto porovnaná každá dvojice j-tého a i-tého kritéria se zapisuje do Saatyho matice  $S = (s_{ij})$ , kde na hlavní diagonále jsou hodnoty 1, nad hlavní diagonálou zvolené hodnoty z porovnaných dvojic dle matice č. 1 a pod hlavní diagonálou převrácené hodnoty dle reciprocity pro čtvercovou matici  $n \times n$ . (Šubrt a kol., 2011)

Matice 1: Saatyho matice

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ \frac{1}{s_{12}} & 1 & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{s_{1k}} & \frac{1}{s_{2k}} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

(Zdroj: Šubrt a kol., 2011)

Následuje výpočet geometrického průměru hodnot  $s_{ij}$  pro každé kritérium podle vzorce č. 4:

Vzorec 4: Výpočet geometrického průměru hodnot  $s_{ij}$

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n s_{ij}}$$

Normalizací hodnot  $b_i$  získáme váhy podle vzorce č. 5:

Vzorec 5: Normalizace hodnot  $b_i$

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{j=1}^n b_j}$$

(Šubrt a kol., 2011)

Pro matici č. 1 musí platit, aby byla dostatečně konzistentní, jinak by samotný výpočet neměl smysl. Obecně platí, že vypočtený index konzistence musí být C. I.  $< 0,1$ . Výpočet se provádí podle vzorce č. 6, kde  $k$  je počet kritérií a  $\lambda_{max}$  je největší vlastní číslo matice S.

Vzorec 6: Výpočet konzistence matice

$$C. I. = \frac{\lambda_{max} - k}{k - 1}$$

(Jablonský, 2002)

### 3.5 Metody výběru kompromisní varianty

Metod pro výběr kompromisní varianty je mnoho a rozdělují se podle typu informace. Některé z metod jsou popsány v následujících kapitolách.

Dle Ramíka (1999) je postup pro výběr kompromisní varianty závislý na důležitosti jednotlivých kritérií. Předpokládá, že optimální varianta by měla nabývat co možná nejlepšího ohodnocení podle nejdůležitějších kritérií v množině kritérií  $C = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ . Na tuto množinu pohlížíme jako na množinu variant s jediným kritériem G za účelem výběru optimální varianty z množiny variant  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ . Rozlišuje 3 typy informací o kritériích z množiny C, neboli rozdělení do skupin:

- Metody s nominální informací o kritériích,
- Metody s ordinální informací o kritériích,
- Metody s kardinální informací o kritériích.

(Ramík, 1999)

Pro lepší přehlednost je níže znázorněna tabulka č. 2, rozdělení podle typu informace dle Šubrta a kol. (2011).



Tabulka 2: Metody kvantifikace preferencí mezi variantami

Metoda	Informace o preferencích mezi variantami					
	Aspirační úrovně	Ordinální informace	Kardinální informace			
			Funkce užítka	Vzdálenost variant od ideální a bazální varianty	Preferenční relace	Mezní míra substituce
Metoda PRIAM	Lexikografická	Metoda váženého součtu	Metoda TOPSIS	Metoda AHP	Metoda postupné substituce	
	ORESTE			Metoda PROMETHEE		
	Permutační			Metoda ELECTRE		

(Zdroj: Šubrt a kol., 2011; Zpracování: Vlastní)

Štědroň a kol. (2015) rozdělují výběr hodnotící metody také podle složitosti použitého matematického aparátu. Metodu AHP označují na rozhraní mezi jednoduchými a složitými metodami, mezi složité metody pak zařazují například: PROMETHEE, ELECTRE, ORESTE, PRIAM, GAIA, PRAGMA atd.. (Štědroň a kol., 2015)

### 3.5.1 Metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií

#### Bodovací metoda a metoda pořadí

*„Pokud je model zadán pouze pomocí preferencí variant podle jednotlivých kritérií a nejsou známy preference kritérií, lze použít bodovací metodu nebo metodu pořadí také pro výběr kompromisní varianty.“* (Šubrt a kol., 2011)

Jako první ohodnotíme každou variantu podle každého kritéria číslem  $b_{ij}$ .

U metody pořadí hodnotíme jednotlivé varianty v intervalu  $\langle 1; m \rangle$ , kde  $m$  je počet variant, tak aby nejlepšího ohodnocení bylo např.  $m$ .

U bodovací metody vybereme pro kvantifikaci vhodnou stupnici tak aby nejlepšího ohodnocení dosahovala varianta s maximální hodnotou zvoleného intervalu.

Dále vypočítáme celkové ohodnocení jako součet dílčích hodnot podle vzorce č. 7.

Vzorec 7: Součet dílčích hodnot

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

Posledním krokem je sestupné uspořádání variant podle hodnot  $b_i$  a jako kompromisní volíme podle vzorce č. 8.

Vzorec 8: Výběr kompromisní varianty

$$a_I: b_I = \max(b_i)_{i=1, \dots, s}$$

(Šubrt a kol., 2011)

### 3.5.2 Metody vyžadující aspirační úrovně kritérií

#### Konjunktivní a disjunktivní metoda

V těchto metodách rozhodovatel určuje požadované aspirační úrovně kritérií  $y^*_j, j = 1, 2, \dots, k$ . Poté lze množinu variant rozdělit na akceptovatelné a neakceptovatelné, vzhledem k  $y^*_j$ . K tomuto rozdělení se využívá buď konjunktivního či disjunktivního přístupu. Konjunktivní metoda přijímá pouze varianty, které mají kritériální hodnoty všech kritérií lepší než zvolené aspirační úrovně. Pro tyto varianty platí:  $y_{ij} > y^*_j$ , pro všechna  $j = 1, 2, \dots, k$ . Využitím změn a interaktivního přístupu při postupných změnách  $y^*_j$ , lze dospět k variantě, která nejvíce vyhovuje rozhodovateli.

Pro disjunktivní metodu jsou přijatelné ty varianty, které splňují alespoň jedno ohodnocení kritérií pro každou variantu požadované aspirační úrovně. Za přijatelnou se považuje varianta, pro kterou platí:  $y_{ij} \geq y^*_j$ , alespoň pro jedno  $j = 1, 2, \dots, k$ .

Analogicky jako u konjunktivní metody lze i u této využít interaktivního postupu.

(Fiala, 2013)

#### Metoda bazické varianty

*„Za bazickou variantu je považována varianta, která dosahuje nejlepších či předem stanovených hodnot z hlediska všech kritérií“.* (Šubrt a kol., 2011)

Metoda spočívá v porovnání hodnot důsledků jednotlivých variant s odpovídajícími hodnotami v bazické variantě za účelem vytvoření užitkové funkce s využitím bazické varianty.

Pro užitek kritéria výnosového typu při volbě  $i$ -té varianty a označíme-li  $y_j^B$  jako hodnotu  $j$ -tého kritéria v bazické variantě, platí vzorec č. 9.

Vzorec 9: Užitek výnosového typu

$$u_{ij} = \frac{y_{ij}}{y_j^B}$$

Pro kritéria nákladového se počítá dílčí účinek podle vzorce č. 10.

Vzorec 10: Užitek nákladového typu

$$u_{ij} = \frac{y_j^B}{y_{ij}}$$

Poté seřadíme varianty podle vypočtené agregované funkce užitku.

(Šubrt a kol., 2011)

### 3.5.3 Metody vyžadující ordinální informaci

#### Lexikografická metoda

Tato metoda uvažuje, že největší vliv na výběr optimální varianty má právě nejdůležitější kritérium, výstupem je pak preference jednotlivých variant. Postupně hledáme nejdůležitější kritérium, podle kterého seřadíme jednotlivé varianty. V případě dvou či více variant se stejným ohodnocením podle daného kritéria seřadíme tyto varianty podle druhého nejdůležitějšího kritéria atd. Metoda tak může poskytovat různé výsledné optimální varianty při různých seřazeních stejně ohodnocených kritérií.

(Ramík, 1999)

### 3.5.4 Metody vyžadující kardinální informaci

#### Metoda váženého součtu

Tato metoda vychází z principu maximalizace užitku, je tedy speciální případem metody funkce užitku. Pomocí transformačního vzorce č. 11 získáme prvky z kritériální matice  $Y=(y_{ij})$  pro normalizovanou kritériální matici  $R=(r_{ij})$ .

Vzorec 11: Transformační vzorec

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

Vytvořená matice  $R=(r_{ij})$  představuje matici s hodnotami užitku  $i$ -té varianty podle  $j$ -tého kritéria. Kritériální hodnoty dále lineárně transformujeme tak, že  $r_{ij} \in \langle 0,1 \rangle$ ,

$D_j=0$  a  $H_j=1$ . Užitek vícekriteriální funkce, při aditivním tvaru, je roven dle vzorce č. 12.

Vzorec 12: Užitek vícekriteriální funkce

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j r_{ij}$$

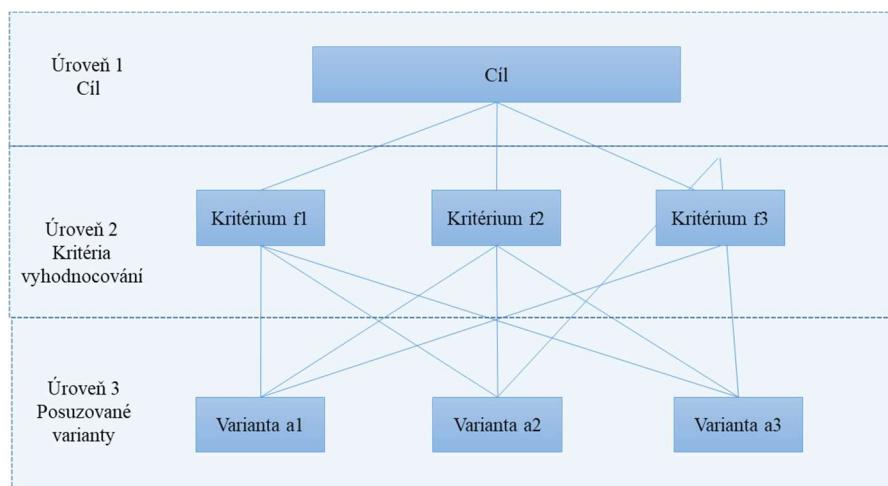
Výsledná varianta s maximální hodnotou užitku je pak vybrána jako nejlepší. (Fiala, 2013)

### AHP – Analytický hierarchický proces

Za autora analytického hierarchického procesu je považován americký profesor Thomas L. Saaty ze 70. letech 20. století, který se svými spolupracovníky rozvinul metodu AHP, z anglického „Analytic Hierarchy Process“, do praktického nástroje na podporu rozhodování. Tato metoda je založena na rozložení složité situace na jednodušší komponenty, hierarchické struktury. Na každé úrovni se pak použije Saatyho párové porovnání z kapitoly 3.4.2. (Ramík, 1999)

Na obrázku č. 3 je znázorněna jednoduchá hierarchická struktura o 3 úrovních.

Obrázek 3: Jednoduchá hierarchická struktura AHP



(Zdroj: Fiala, 2013; Zpracování: Vlastní)

Díky interaktivnímu postupu lze zpřesňovat odhady vah a tak tedy zlepšit konzistenci matice. (Fiala, 2013).

Pro složitější úlohy jsou mezi kritérii a variantami ještě vloženy úrovně subkritérií. Úlohy, na kterých se při řešení podílí více hodnotitelů, mají mezi cílem a kritériem ještě úroveň hodnotitelů. (Šubrt a kol., 2011)

## TOPSIS

TOPSIS, zkratka z anglického spojení „Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution“, je metoda založená na minimalizaci vzdálenosti od ideální varianty, respektive maximalizaci vzdálenosti od varianty bazální. Tuto metodu je možné použít, jestliže známe váhy pro jednotlivá kritéria a kritériální hodnoty pro jednotlivé varianty. Prvním krokem je převedení všech kritérií s minimalizačním charakterem na maximalizační. (Fiala, 2013)

Poté vytvoříme normalizovanou kritériální matici  $R=(r_{ij})$  dle vzorce č. 13.

Vzorec 13: Výpočet normalizované kritériální matice

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p y_{ij}^2}}$$

Výsledné hodnoty ve sloupci R jsou vektory jednotkové délky. (Šubrt a kol., 2011)

Dalším krokem je výpočet vážené normalizované matice  $W=(w_{ij})$  podle vzorce č. 14, tedy v normalizované matici R násobíme každý j-tý sloupec odpovídající vahou  $v_j$ .

Vzorec 14: Výpočet vážené normalizované matice

$$w_{ij} = v_j r_{ij}$$

(Fiala, 2013)

Následně se určí ideální varianta H a bazální varianta D, od kterých se počítá vzdálenost jednotlivých variant. Od ideální je výpočet dán vzorcem č. 15.

Vzorec 15: Ideální varianta

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

Od bazální pak vzorcem č. 16.

Vzorec 16: Bazální varianta

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

Posledním krokem je výpočet relativního ukazatele vzdáleností pro jednotlivé varianty od bazální varianty podle vzorce č. 17.

Vzorec 17: Výpočet relativního ukazatele vzdáleností

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$

Výsledné hodnoty z intervalu  $\langle 0;1 \rangle$  sestupně seřadíme, přičemž nejvyšší hodnoty jsou považovány za řešení vícekriteriálního problému. (Šubrt a kol., 2011)

## **4 Vlastní práce**

### **4.1 Popis firmy**

AERO Vodochody AEROSPACE a.s. se zaměřuje na vývoj a výrobu civilních a vojenských letadel a je největším leteckým výrobcem v České republice a jedním z nejstarších leteckých výrobců na světě. V oblasti vlastních letounů je Aero stálým partnerem řady armádních letectev a má silnou pozici na trhu s vojenskými cvičnými a lehkými bitevními letouny. Díky stovkám stále používaným letounů L-39 a zejména díky svému novému letounu L-39NG se Aero profiluje jako lídr na světovém trhu s proudovými cvičnými letadly.

V oblasti civilního letectví je Aero partnerem největších leteckých výrobců v široké škále projektů. V posledních letech přitom přijalo zodpovědnost nejen za výrobu, ale i za vývoj strukturálních částí letounů díky několika risk-sharingovým programům. (AERO Vodochody AEROSPACE, 2018)

### **4.2 Popis problému**

V roce 2012 byl schválen požadavek na investici do CNC nýtovacího stroje ve firmě AERO Vodochody AEROSPACE a.s., který slouží k rychlejší a přesnější montáži zvláště trupových struktur letounu a zvýšení konkurenceschopnosti na celosvětovém trhu.

Výběrové řízení proběhlo na základě ustavení výběrové komise čítající čtyři členy různých oddělení, konkrétně z technologie, technologického vývoje a lean (štíhlé myšlení), údržby strojů a konstrukce, kteří pomocí konzultací s jednotlivými kandidáty vybrali německou společnost Broetje-Automation, se kterou v lednu roku 2013 podepsali kontrakt ve výši 100 mil. Kč.

Jelikož se jedná o největší investici do jednoho stroje v rámci firmy, je v následujících kapitolách toto výběrové řízení zanalyzováno pomocí metod vícekritériálního rozhodování.

### **4.3 Aspirační úrovně**

V zadávací dokumentaci pro výběr nýtovacího automatu byly vytyčeny požadavky, které musely jednotlivé firmy splňovat, aby mohly aspirovat na možného

kandidáta výběru, tedy aspirační úrovně. Tato dokumentace byla vytvořena společnými silami výběrové komise zmíněné v kapitole 4.2.

#### **4.3.1 Požadavky na stroj**

- Ovládací systém Siemens nebo Fanuc.
- Data přístupná na síti.
- Vizualizační systém (kamery/ monitory) – barevný.
- Simulační software.
- Off-line programování.
- Tří fázové napájení 400V – 50Hz
- Všechny ovládací prvky (spínače, měřidla, regulátory, zařízení) musí být funkčně seskupeny, trvale identifikovány a namontovány na místě, které obsluze poskytuje optimální viditelnost z jeho normální polohy.
- Dodavatel musí zajistit, aby návrh, výroba a provoz systému odpovídaly evropským normám.
- Je vyžadováno označení CE stroje. Dodavatel musí poskytnout certifikát o shodě CE (prohlášení o shodě se vztahuje na evropskou směrnici o strojních zařízeních (89/392 EHS ve znění směrnic 91/368 EHS a 93/44 EHS)

#### **4.3.2 Vrtání a zahlubování**

- Vrtání do hliníkových, titanových a ocelových materiálů.
- Automatická výměna vrtáků během procesu.
- Řízený rozsah vrtání minimálně mezi 500 - 18000 ot/min.
- Odchylka na přesnost polohování maximálně +/- 0,1mm.
- Detektor zlomeného vrtáku.
- Programovatelný cyklus vrtání, variabilní posuv a rychlost.
- Minimální velikost plochy schopné opracovat v ose X= 3m a v ose Y=3,5m.

#### **4.3.3 Instalace spojovacího prvku**

- Zásobníky minimálně pro dva druhy spojovacího materiálu a minimálně tři průměry od každého druhu, včetně nýtovacích matic.
- Instalace jak zápusťných, tak půlkulatých spojovacích materiálů.



- Detektor chybějícího spojovacího prvku v podávacím systému.
- Instalace včetně tmelení (mokré nýtování).

#### **4.3.4 Údržba a ostatní**

- Automatické mazání všech pohyblivých částí stroje.
- Dodavatel poskytne potřebné školení včetně dokumentace.
- Náklady na údržbu hrazené dodavatelem na 5 let.
- Všechny součásti stroje musí mít ochranu proti korozi prostředí (relativní vlhkost: 95 %).

#### **4.3.5 Bezpečnost práce**

- Musí být zapracovány všechny potřebné přístroje k ochraně zařízení a obsluhy, které lze rozumně předpokládat.
- Maximální hlučnost v provozu 80dB.
- Snímač kolize.

### **4.4 Popis kritérií**

Na základě prostudovaných poskytnutých dat z výběrového řízení a v menší míře také konzultací s kolegy, byly pro analýzu vybrány níže zmiňovaná kritéria.

#### **4.4.1 K1 – Rychlost procesu instalace spojovacích prvků**

Rychlost procesu je nejdůležitějším kritériem, jelikož časová úspora je jedním z hlavních důvodů pořízení CNC stroje.

Měření bylo provedeno na vzorcích z hliníkové desky o tloušťce 4,8mm, do které byl vyvrtán otvor o průměru 4,8mm s tolerancí  $\pm 0,02\text{mm}$  a zahloubením  $100^\circ$  pro nýt MS20426 a jeho následnou instalaci na sucho (bez tmelu). Výsledkem je počet instalovaných nýtů za minutu (zaokrouhлено na celá čísla). Jedná se o minimalizační kritérium.

#### **4.4.2 K2 – Cena**

Cena je v běžném rozhodování jedním z hlavních bodů s velkou, ne-li největší vahou. V našem případě na ni však není kladen takový důraz, neboť vzhledem

k velikosti investice je požadováno, aby stroj byl v odpovídající kvalitě a konkurence schopný na dlouhá léta a také fakt, že stroj byl částečně financován z dotace.

Cena je zaokrouhlena na celá čísla a udávána v miliónech korun při kurzu: americký dolar 19,58 Kč a euro 25,14 Kč (hodnota měn za rok 2012). Jedná se o minimalizační kritérium.

#### **4.4.3 K3 – Počet kazet na spojovací prvky**

Počet kazet neboli počet zásobníků na spojovací prvky je kritériem, které ovlivňuje rychlost spojovacího procesu, zejména při strukturách vyžadující instalaci více druhů a typů spojovacího materiálu. Vyšší počet kazet snižuje periodiku výměny prvků v kazetách, ale také lepšího technologického postupu, což přináší kýženou časovou úsporou. Jedná se o kritérium maximalizační vyjádřené v kusech.

#### **4.4.4 K4 – Kapacita kazet**

Kapacita kazet je dalším kritériem, které značně ovlivňuje časovou úsporou, tedy periodiku doplňování. Pro zlepšení imaginace důležitosti kritéria je uveden odhadovaný počet spojovacích prvků z jedné sekce dopravního letadla Airbus A321, jenž čítá přibližně 12 000 kusů spojovacího materiálu. Jedná se o maximalizační kritérium vyjádřené v kusech.

#### **4.4.5 K5 – Doba instalace stroje**

Doba od podepsání smlouvy až po uvedení stroje do provozu je kvůli náročné struktuře stroje a vyřešení okolních náležitostí týkajících se instalace poměrně dlouhá. To sebou samozřejmě přináší své mínusy, například ušlé potencionální zisky, plánování dodávek a výrobních kapacit. Jedná se o minimalizační kritérium s menší vahou vyjádřené v počtu kalendářních měsíců.

#### **4.4.6 K6 – Rozměr základny**

Rozměr základny je kritériem s menší vahou, nicméně je brán v potaz kvůli rozměrové kapacitě haly, ve které se daný stroj má nacházet. Co se týče výrobní haly, v té je hned několik dalších výrobních programů, a proto je nezbytné mít dostatečný manipulační prostor a též prostor pro logistiku. Jedná se o kritérium minimalizační vyjádřené v metrech čtverečních.

#### 4.4.7 K7 – Operační rozsah

Operační rozsah je poměrně důležité kritérium, které udává velikost prostoru, který je stroj schopen opracovat. Minimální rozsah byl určen v zadávací dokumentaci určené pro výrobní program panelů Airbus A321, avšak do budoucna je zřejmé, že v případě nových kontraktů na větší civilní či vojenské letouny bude operační rozsah důležitý. Jedná se o maximalizační kritérium určené v metrech čtverečních.

#### 4.4.8 K8 – Technologicky nutná prodleva

Technologická prodleva je dalším důležitým kritériem, neboť čas, který je nezbytný na přípravu, údržbu před a po spojovacím procesu také znatelně ovlivňuje rychlost výroby. Časová studie byla stanovena pro spodní panel, ze sekce 14A z program Airbus A321. Jedná se o minimalizační kritérium vyjádřené v minutách.

### 4.5 Popis variant

Vzhledem k velmi specifickému výběru stroje se na výběrové řízení přihlásilo pouze celkem 6 firem, z nichž, kromě firmy Agme, všechny splňovaly požadavky aspirační úrovně z kapitoly 4.3. Firma Gemcor nabídla své 2 typy CNC stroje G2000 a G14. Varianty jsou znázorněny v tabulce č. 3.

Tabulka 3: Redukce variant dle zadávací dokumentace

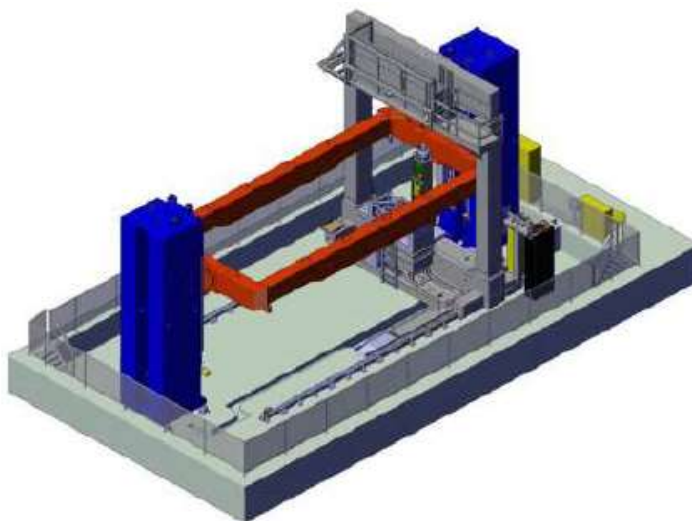
Aspirační úroveň Varianta	Požadavky na stroj	Vrtání a zahlubování	Instalace spojovacího prvku	Údržba a ostatní	Bezpečnost práce
Broetje-automation IPAC	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Electroimpac ARM	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
<u>Agme</u>	<u>Ne</u>	<u>Ne</u>	Ano	Ano	Ano
Gemcor G200	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Gemcor G14	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Spie PRECA 1000	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Townend Aerospace ITC	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano

(Zdroj: vlastní práce)

#### 4.5.1 Broetje-Automation IPAC

Broetje-Automation je dlouholetý německý výrobce letecké techniky na trhu. Vznik této firmy je datovaný na rok 1979 jako následovník společnosti August Brötje Maschinenbau und Heizungstechnik. K dnešnímu dni má mnoho poboček po celém světě a stabilní pozici na trhu. (Broetje-Automation GmbH, 2018), (*Překlad: Vlastní*)

Obrázek 4: CNC nýtovací stroj IPAC



(Zdroj: firma AERO Vodochody AEROSPACE a.s.)

Tabulka 4: Parametry CNC stroje IPAC

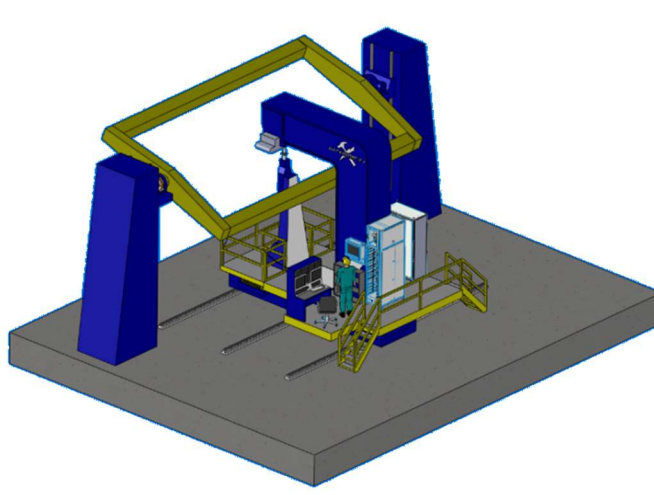
Kritérium	Hodnota
Rychlost procesu	15 ks/min
Cena	100 mil. Kč
Počet slotů	16 ks
Velikost slotů	1000 ks
Doba instalace	19 měsíců
Velikost základny	187 m <sup>2</sup>
Operační rozsah	65 m <sup>2</sup>
Technologická prodleva	180 min

(Zdroj: firma AERO Vodochody AEROSPACE a.s.)

#### 4.5.2 Electroimpac ARM

Roku 1986 byla v USA založena firma Electroimpact, která ve svých počátcích především sloužila jako dodavatel obráběcích strojů pro společnost Boeing. V dnešní době je jedním z největších výrobců montážních linek po celém světě s významnými zákazníky, jimiž jsou například Airbus, Bombardier, Embraer atd. (Electroimpact, Inc., 2018), (Překlad: Vlastní)

Obrázek 5: CNC nýtovací stroj Electroimpac ARM



(Zdroj: firma AERO Vodochody AEROSPACE a.s.)

Tabulka 5: Parametry CNC stroje Electroimpac ARM

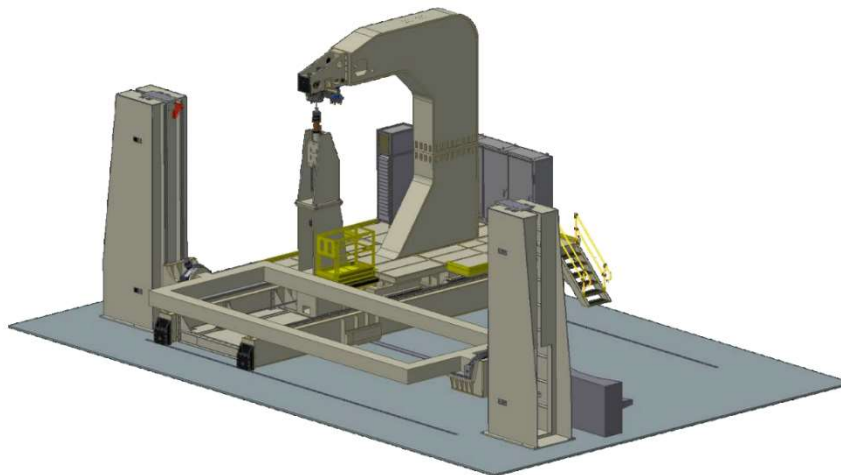
Kritérium	Hodnota
Rychlost procesu	15 ks/min
Cena	61 mil. Kč
Počet slotů	16 ks
Velikost slotů	1000 ks
Doba instalace	20 měsíců
Velikost základny	168 m <sup>2</sup>
Operační rozsah	35 m <sup>2</sup>
Technologická prodleva	210 min

(Zdroj: firma AERO Vodochody AEROSPACE a.s.)

### 4.5.3 Gemcor G2000

Gemcor je jedna z dalších zámořských firem, který byla založena v roce 1937. Tato stabilní firma vyrobila více než 2200 systémů pro podporu automatické výroby v leteckém průmyslu, jež jsou instalovány po celém světě. (Gemcor, 2018), (*Překlad: Vlastní*)

Obrázek 6: CNC nýtovací stroj G2000



(Zdroj: firma AERO Vodochody AEROSPACE a.s.)

Tabulka 6: Parametry CNC stroje G2000

Kritérium	Hodnota
Rychlost procesu	17 ks/min
Cena	92 mil. Kč
Počet slotů	16 ks
Velikost slotů	1200 ks
Doba instalace	13 měsíců
Velikost základny	228 m <sup>2</sup>
Operační rozsah	40 m <sup>2</sup>
Technologická prodleva	150 min

(Zdroj: firma AERO Vodochody AEROSPACE a.s.)

#### 4.5.4 Gemcor G14

Stručný popis firmy byl již prezentován v kapitole 4.5.3.

Obrázek 7: CNC nýtovací stroj G14



(Zdroj: <http://www.gemcor.com/wp/automation-products/positioning-systems/>)

Tabulka 7: Parametry CNC stroje G14

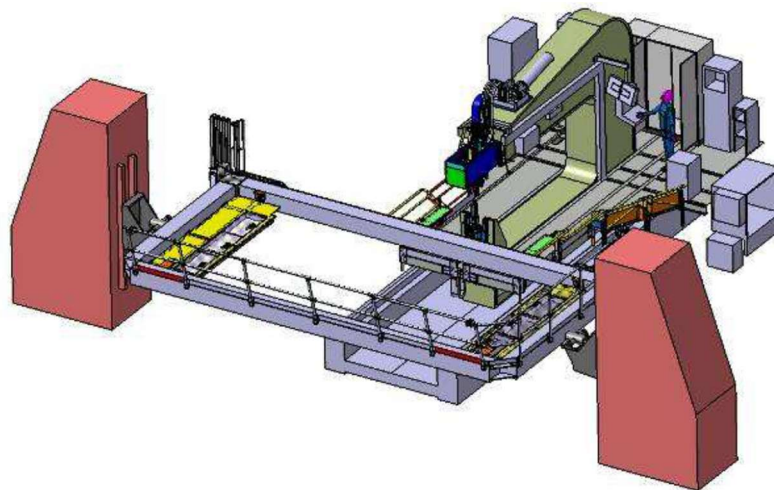
Kritérium	Hodnota
Rychlost procesu	17 ks/min
Cena	94 mil. Kč
Počet slotů	14 ks
Velikost slotů	1200 ks
Doba instalace	15 měsíců
Velikost základny	275 m <sup>2</sup>
Operační rozsah	45 m <sup>2</sup>
Technologická prodleva	150 min

(Zdroj: firma AERO Vodochody AEROSPACE a.s.)

#### 4.5.5 Spie PRECA 1000

Spie je skupina složená ze tří společností, které dohromady rozvinuly své znalosti v široké škále oblastí. V dnešní době je skupina Spie evropským lídrem v oblasti elektrického a mechanického inženýrství. (SPIE, 2018), (Překlad: Vlastní)

Obrázek 8: CNC nýtovací stroj PRECA 1000



(Zdroj: firma AERO Vodochody AEROSPACE a.s.)

Tabulka 8: Parametry CNC stroje PRECA 1000

Kritérium	Hodnota
Rychlost procesu	14 ks/min
Cena	118 mil. Kč
Počet slotů	16 ks
Velikost slotů	750 ks
Doba instalace	18 měsíců
Velikost základny	150 m <sup>2</sup>
Operační rozsah	28 m <sup>2</sup>
Technologická prodleva	225 min

(Zdroj: firma AERO Vodochody AEROSPACE a.s.)

#### 4.5.6 Townend Aerospace ITC

Firma Townend Aerospace je poměrně mladá, avšak rychle se rozvíjející. Firma byla založena v Kalifornii. V uplynulých letech vybudovala mnoho jedinečných systémů, čímž trvale zlepšuje svůj podíl na trhu. (Townend Aerospace Tool Company, Inc., 2018), (Překlad: Vlastní)



Obrázek 9: CNC nýtovací stroj ITC



(Zdroj: <http://www.townendaerospace.com/ITC-CNC-Series.php>)

Tabulka 9: Parametry CNC stroje ITC

Kritérium	Hodnota
Rychlost procesu	11 ks/min
Cena	54 mil. Kč
Počet slotů	12 ks
Velikost slotů	500 ks
Doba instalace	12 měsíců
Velikost základny	143 m <sup>2</sup>
Operační rozsah	21 m <sup>2</sup>
Technologická prodleva	160 min

(Zdroj: firma AERO Vodochody AEROSPACE a.s)

#### 4.6 Výběr CNC stroje

Pro analýzu a následný výběr kompromisní varianty CNC stroje byla zvolena metoda TOPSIS, neboť všechny atributy mají kvantitativní charakter k danému kritériu a variantě.

V tabulce č. 10 je znázorněna výchozí rozhodovací matice s povahami jednotlivých kritérií.

Tabulka 10: Výchozí rozhodovací matice

Kritérium Varianta	Rychlost procesu	Cena	Počet kazet	Kapacita kazet	Doba instalace	Rozměr základny	Operační rozsah	Tech. prodleva
IPAC	15	100	16	1000	19	187	65	180
ARM	15	61	16	1000	20	168	35	210
G200	17	92	16	1200	13	228	40	150
G14	17	94	14	1200	15	275	45	150
PRECA 1000	14	118	16	750	18	150	28	225
ITC	11	54	12	500	12	143	21	160
Povaha	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MIN

(Zdroj: vlastní práce)

#### 4.6.1 Stanovení preferencí kritérií

Preference byly kvalitativně naznačeny již v samotném popisu jednotlivých kritérií. Pro stanovení vah byla použita Saatyho metoda vzájemných porovnání, aby reflektovala objektivnější vyjádření kardinálních hodnot. V roli rozhodovatele pak byli členové výběrové komise.

Postup výpočtu vah Saatyho metodou je popsán v kapitole 3.4.3., podle kterého byla vypočtena následující tabulka č. 11 s jednotlivými váhami  $v_j$ .

Tabulka 11: Saatyho matice s výpočtem vah kritérií

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	G.průměr	$v_j$
K1	1,00	2,00	3,00	3,00	5,00	4,00	2,00	2,00	2,48	0,251
K2	0,50	1,00	0,50	2,00	5,00	4,00	0,50	0,50	1,12	0,113
K3	0,33	2,00	1,00	2,00	5,00	5,00	0,50	1,00	1,42	0,144
K4	0,33	0,50	0,50	1,00	3,00	2,00	0,50	0,33	0,73	0,074
K5	0,20	0,20	0,20	0,33	1,00	0,33	0,20	0,25	0,29	0,029
K6	0,25	0,25	0,20	0,50	3,00	1,00	0,20	0,25	0,42	0,042
K7	0,50	2,00	2,00	2,00	5,00	5,00	1,00	2,00	1,94	0,196
K8	0,50	2,00	1,00	3,00	4,00	4,00	0,50	1,00	1,49	0,150
$\Sigma$									9,89	1,000

(Zdroj: vlastní práce)

Vzhledem k tomu že index konzistence této matice byl vypočten na  $C. I. = 0,0582$ , lze tuto matici považovat za dostatečně konzistentní, neboť je splněna podmínka  $C. I. < 0,1$ .

#### 4.6.2 Výběr kompromisní varianty metodou TOPSIS

V úvodu bylo potřeba převést povahu minimalizačních kritérií z výchozí tabulky č. 10 na maximalizační a to tak, že původní hodnoty byly nahrazeny rozdílem kritériálních hodnot od bazální varianty.

Následně se kritériální hodnoty transformovaly podle vztahu z kapitoly 3.5.4, vzorce č. 13 a vypočetly se prvky vážené kritériální matice  $W$  dle vztahu z té samé kapitoly, vzorce č. 14, kde hodnoty vah kritérií  $v_j$  byly vypočteny v kapitole 4.6.1.

Tabulka č. 12 níže vyjadřuje normalizovanou matici  $W$  zaokrouhlenou na čtyři desetinná místa, ideální variantu  $H$  a bazální variantu  $D$ .

Tabulka 12: Normalizovaná matice  $W$

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
IPAC	0,1027	0,0216	0,0623	0,0311	0,0024	0,0160	0,1256	0,0509
ARM	0,1027	0,0684	0,0623	0,0311	0,0000	0,0194	0,0676	0,0170
G200	0,1163	0,0312	0,0623	0,0373	0,0169	0,0085	0,0773	0,0848
G14	0,1163	0,0288	0,0545	0,0373	0,0121	0,0000	0,0870	0,0848
PRECA 1000	0,0958	0,0000	0,0623	0,0233	0,0048	0,0227	0,0541	0,0000
ITC	0,0753	0,0768	0,0467	0,0155	0,0193	0,0239	0,0406	0,0735
H	0,116	0,077	0,062	0,037	0,019	0,024	0,126	0,085
D	0,075	0,000	0,047	0,016	0,000	0,000	0,041	0,000

(Zdroj: vlastní práce)

Z normalizované matice  $W$  byly poté spočteny vzdálenosti od ideální ( $d_i^+$ ) a bazální varianty ( $d_i^-$ ) podle vztahů popsané v kapitole 3.5.4, vzorce č. 15 a č. 16. Finálním krokem byl výpočet ukazatele relativní vzdálenosti  $c_i$  od bazální varianty podle vzorce č. 17.

V tabulce č. 13 jsou znázorněny výsledky vzdálenosti od ideální varianty, bazální varianty, relativní vzdálenosti a výsledného pořadí.

Tabulka 13: Výsledné pořadí variant

	$d^+$	$d^-$	c	Pořadí
IPAC	0,0691	0,1085	0,6109	3
ARM	0,0930	0,0855	0,4790	5
G200	0,0683	0,1108	0,6187	2
G14	0,0670	0,1119	0,6257	1
PRECA 1000	0,1379	0,0380	0,2160	6
ITC	0,0988	0,1107	0,5284	5

*(Zdroj: vlastní práce)*

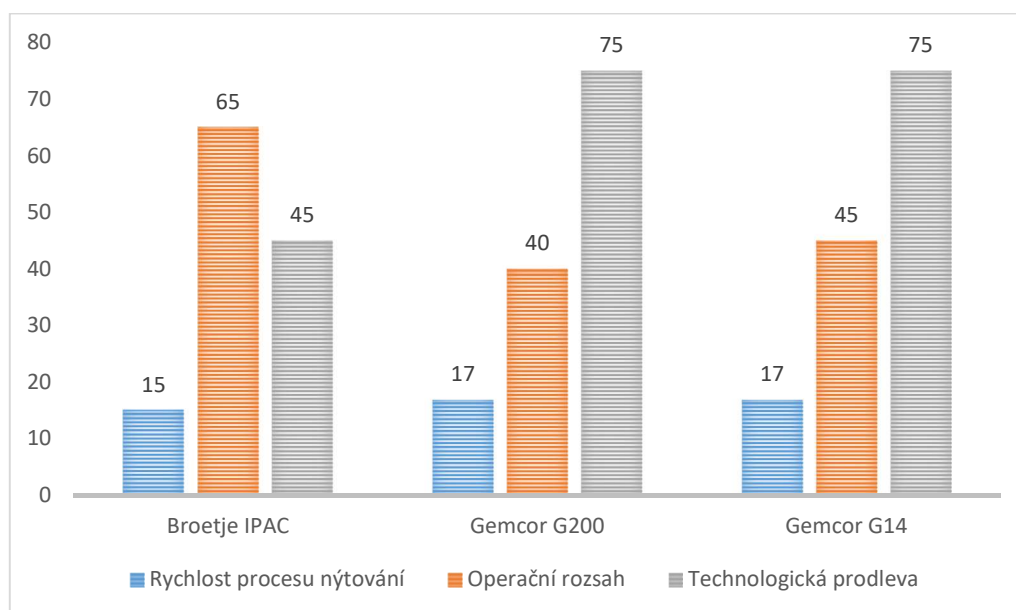
## 5 Výsledky a diskuze

Pro výpočet metody vah jsme po konzultaci s výběrovou komisí zvolili Saatyho metodu párového srovnání, neboť výsledné váhy byly více objektivní, nežli metodou bodovací. Pro srovnání odkazujeme na tabulku č. 16 v sekci příloh, pozn. škála pro bodovací metodu byla určena na 0-10 bodů. Z matice jsme vypočítali váhy, z nichž vyšlo jako nejdůležitější kritérium rychlost procesu nýtování.

Za pomocí metody TOPSIS, jsme dospěli ke kompromisní variantě od firmy Gemcor, typ G14. Hned za ní se umístil od stejné společnosti typ G2000 a jako třetí varianta v pořadí stroj IPAC od firmy Broetje-Automation.

Z výsledné tabulky č. 13 je patrné, že tyto tři varianty jsou od sebe jen minimálně vzdáleny, konkrétně od kompromisní varianty o 0,007, resp. 0,0148, a dominují tedy ostatním variantám. Z grafu č. 1 je zřejmé, že stroje od firmy Gemcor jsou lepší ve dvou ze tří kritérií s největší vahou oproti stroji IPAC od firmy Broetje-Automation, konkrétně v kritériu rychlost procesu nýtování a technologické prodlevě, pozn. data pro graf jsou pro lepší čitelnost vybrána z tabulky č. 14 v sekci příloh, kde jsou hodnoty kritérií převedena dle maximalizační povahy.

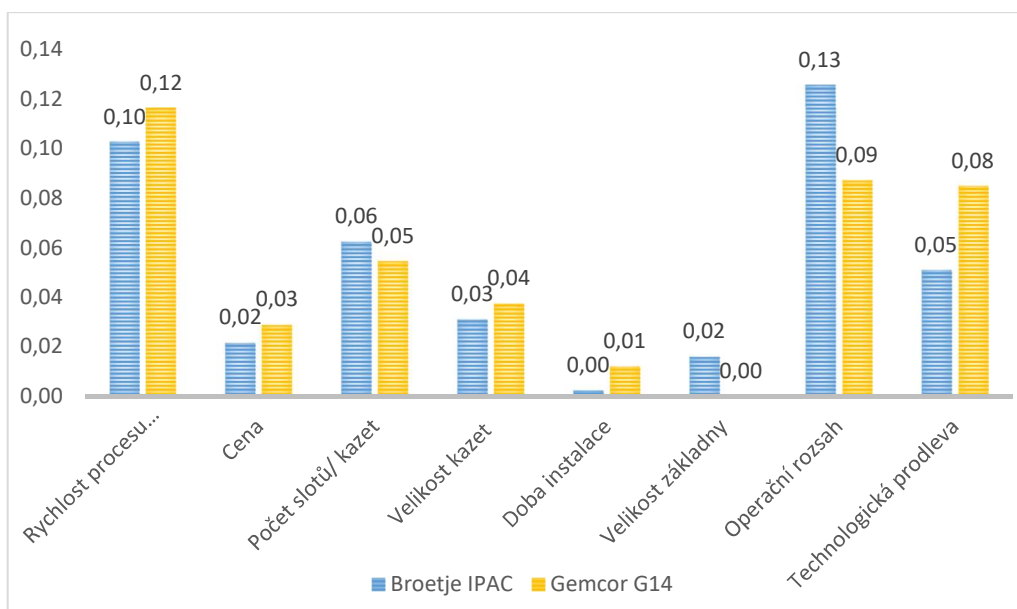
Graf 1: Porovnání dominantních variant



(Zdroj: vlastní práce)

Jako kompromisní varianty se jeví spíše stroje od firmy Gemcor, nežli skutečně vybraný stroj IPAC firmy Broetje-Automation. Z grafu č. 2 vidíme porovnání kompromisní varianty se skutečně vybraným strojem z normalizované matice W.

Graf 2: Porovnání kompromisní a skutečně vybrané varianty



(Zdroj: vlastní práce)

Gemcor G14 je tedy lepší v pěti z osmi kritérií a jak bylo již zmíněno výše i ve dvou ze tří kritérií s největší vahou. Tato skutečnost byla konzultována s kolegy, kteří se podíleli na výběrovém řízení a s kolegy z oddělení technologického vývoje a štihlé výroby.

## 6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provést analýzu vícekriteriálního rozhodování na výběrovém řízení z roku 2012 pro výběr a nákup CNC nýtovacího automatu. Dílčími cíli bylo určit kritéria na základě dokumentací a konzultací s kolegy, výběr vhodné metody na stanovení vah kritérií a následná aplikace těchto metod k výpočtu kompromisní varianty.

V teoretické části jsou popsány pojmy a metody rozhodování s návazností na vícekriteriální rozhodování. Východiska jsou posléze aplikovány v praktické části.

V úvodu vlastní části práce je stručné seznámení s firmou Aero Vodochody Aerospace a.s., ze které jsem čerpal data, následované aspiračními úrovněmi ze zadávací dokumentace. Aspirační úrovně splnilo celkem šest ze sedmi firem, z nichž firma Gemcor nabídla své dva typy stroje, G14 a G2000, tudíž kandidátů na kompromisní variantu bylo celkem sedm. Členy firemní komise bylo určeno celkem osm kritérií, která považují s odstupem času za důležitá.

Po stanovení preferencí jednotlivých kritérií byla pro výpočet vah použita Saatyho metoda párových porovnání. K nalezení řešení byla aplikována metoda TOPSIS. Za kompromisní variantu byl výpočty zvolen stroj G14 od firmy Gemcor. S minimální nuancí se za ní umístili stroje G200 od stejné firmy a stroj IPAC od německé firmy Broetje-Automation.

Z výsledku je tedy zřejmé, že firemní komise, která v roce 2012 vybrala stroj IPAC, by podle výpočtů vícekriteriální analýzy variant nejspíše zvolila stroj G14. Je však nutné brát v úvahu hypotézu, že pokud by firemní komise využila v roce 2012 metod vícekriteriálního rozhodování, vybírala by stroje podle odlišných kriteriálních preferencí.

Přínosem této bakalářské práce je zejména rozšíření obzorů kolegům z oddělení technologického rozvoje a štíhlé výroby, včetně mého, kdy byla na praktickém příkladu v rámci firmy provedena analýza výběrového řízení a porovnán skutečně vybraný stroj se strojem kompromisním. Na základě výsledků je také neméně důležitým přínosem doporučení firemní komisi využívání metod operačního výzkumu pro další kapitálově náročné investice.

## 7 Seznam použitých zdrojů

### Tištěné zdroje:

BROŽOVÁ, Helena, Tomáš ŠUBRT a Milan HOUŠKA, 2007. *Modely pro řízení znalostí a podporu rozhodování*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 117 s. ISBN 978-80-213-1633-1.

DOSTÁL, Petr, Karel RAIS a Zdeněk SOJKA, 2005. *Pokročilé metody manažerského rozhodování: konkrétní příklady využití metod v praxi*. Praha: Grada, 168 s. Expert (Grada). ISBN 80-247-1338-1.

DUCHOŇ, Bedřich a Jana ŠAFRÁNKOVÁ, 2008. *Management: integrace tvrdých a měkkých prvků řízení*. Praha: C.H. Beck, 378 s. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7400-003-4.

FIALA, Petr, 2002. *Modelování a analýza produkčních systémů*. Praha: Professional Publishing, 259 s. ISBN 80-864-1919-3.

FIALA, Petr, 2013. *Modely a metody rozhodování*. 3., přeprac. vyd. V Praze: Oeconomica, 292 s. ISBN 978-80-245-1981-4.

FOTR, Jiří a Jiří DĚDINA, 1997. *Manažerské rozhodování*. Praha: Ekopress, 207 s. ISBN 80-901991-7-8.

JABLONSKÝ, Josef, 2002. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing, 323 s. ISBN 80-864-1942-8.

PÍŠKOVÁ, Věra, 1993. *Vícekritériální hodnocení variant: (Příručka pro uživatele)*. Praha: Výzkumný ústav výstavby a architektury, 81 s. ISBN 80-851-2484-X.

RAMÍK, Jaroslav, 1999. *Vícekritériální rozhodování - analytický hierarchický proces (AHP)*. Karviná: Slezská univerzita, 211 s. ISBN 80-7248-047-2.

ŠTĚDRONĚ, Bohumír, Petr MOOS, Marcela PALÍŠKOVÁ, Otto PASTOR, Miroslav SVÍTEK a Libor SVOBODA, 2015. *Manažerské rozhodování v praxi*. V Praze: C.H. Beck, 275 s. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7400-587-9.

ŠUBRT, Tomáš, 2011. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 351 s. ISBN 978-80-7380-345-2.

ŽÁČEK, Vladimír, 2015. *Rozhodování v managementu: teorie, příklady, řešení*. V Praze: České vysoké učení technické, 173 s. ISBN 978-80-01-05804-6.



### **Elektronické zdroje:**

AERO Vodochody AEROSPACE, 2018. *Profil společnosti*. [Online]

Available at: <http://www.aero.cz/cz/o-nas/media/novinky/aero-ukazalo-novy-cesky-proudovy-letoun-1-39ng-predstavujici/>

Broetje-Automation GmbH, 2018. *Broetje-Automation GmbH company profile*.

[Online]

Available at: <https://www.broetje-automation.de/en/unternehmen/#unternehmen>

[Přístup získán 28 11 2018].

Electroimpact, Inc., 2018. *About company*. [Online]

Available at: <https://www.electroimpact.com/Company/About.aspx>

[Přístup získán 29 11 2018].

Gemcor, 2018. *History of company*. [Online]

Available at: <http://www.gemcor.com/wp/about/company-history/>

[Přístup získán 29 11 2018].

SPIE, 2018. *History of company*. [Online]

Available at: <http://www.spie.com/en/history>

[Přístup získán 29 11 2018].

Townend Aerospace Tool Company, Inc., 2018. *Townend Aerospace Tool*

*Company, Inc. about*. [Online]

Available at: <http://www.townendaerospace.com/>

[Přístup získán 29 11 2018].

## 8 Přílohy

Tabulka 14: Rozhodovací matice převedena na maximalizační kritéria

Kritérium Varianta	Rychlost procesu	Cena	Počet kazet	Kapacita kazet	Doba instalace	Rozměr základny	Operační rozsah	Tech. prodleva
IPAC	15	18	16	1000	1	88	65	45
ARM	15	57	16	1000	0	107	35	15
G200	17	26	16	1200	7	47	40	75
G14	17	24	14	1200	5	0	45	75
PRECA 1000	14	0	16	750	2	125	28	0
ITC	11	64	12	500	8	132	21	65
Povaha	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX

(Zdroj: vlastní práce)

Tabulka 15: Výpočet vah bodovací metodou

	Body	$v_j$
K1	10	0,244
K2	5	0,122
K3	6	0,146
K4	5	0,122
K5	2	0,049
K6	2	0,049
K7	6	0,146
K8	5	0,122
$\Sigma$	41	1,000

(Zdroj: vlastní práce)

Tabulka 16: Porovnání výsledků vah Saatyho a bodovací metodou

	Saatyho metoda $v_j$	Bodovací metoda $v_j$
K1	0,251	0,244
K2	0,113	0,122
K3	0,144	0,146
K4	0,074	0,122
K5	0,029	0,049
K6	0,042	0,049
K7	0,196	0,146
K8	0,150	0,122
$\Sigma$	1,000	1,000

(Zdroj: vlastní práce)

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Vztah mezi stupněm abstrakce a množstvím dat, informací a znalostí .....	10
Obrázek 2: Schéma fullerova trojúhelníku .....	16
Obrázek 3: Jednoduchá hierarchická struktura AHP .....	23
Obrázek 4: CNC nýtovací stroj IPAC.....	31
Obrázek 5: CNC nýtovací stroj Electroimpac ARM .....	32
Obrázek 6: CNC nýtovací stroj G2000.....	33
Obrázek 7: CNC nýtovací stroj G14.....	34
Obrázek 8: CNC nýtovací stroj PRECA 1000.....	35
Obrázek 9: CNC nýtovací stroj ITC .....	36

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Saatyho rozdělení odhadu vah kritérií .....	18
Tabulka 2: Metody kvantifikace preferencí mezi variantami .....	20
Tabulka 3: Redukce variant dle zadávací dokumentace .....	30

Tabulka 4: Parametry CNC stroje IPAC.....	31
Tabulka 5: Parametry CNC stroje Electroimpac ARM .....	32
Tabulka 6: Parametry CNC stroje G2000.....	33
Tabulka 7: Parametry CNC stroje G14.....	34
Tabulka 8: Parametry CNC stroje PRECA 1000.....	35
Tabulka 9: Parametry CNC stroje ITC .....	36
Tabulka 10: Výchozí rozhodovací matice .....	37
Tabulka 11: Saatyho matice s výpočtem vah kritérií.....	37
Tabulka 12: Normalizovaná matice W .....	38
Tabulka 13: Výsledné pořadí variant.....	39
Tabulka 14: Rozhodovací matice převedena na maximalizační kritéria .....	45
Tabulka 15: Výpočet vah bodovací metodou .....	45
Tabulka 16: Porovnání výsledků vah Saatyho a bodovací metodou .....	46

## Seznam vzorců

Vzorec 1: Shodná váha .....	15
Vzorec 2: Stanovení vah bodovací metodou .....	16
Vzorec 3: Výpočet i-tého kritéria pro Fullerův trojúhelník.....	17
Vzorec 4: Výpočet geometrického průměru hodnot $s_{ij}$ .....	18
Vzorec 5: Normalizace hodnot $b_i$ .....	18
Vzorec 6: Výpočet konzistence matice.....	19
Vzorec 7: Součet dílčích hodnot .....	21
Vzorec 8: Výběr kompromisní varianty .....	21
Vzorec 9: Užitek výnosového typu.....	22
Vzorec 10: Užitek nákladového typu.....	22
Vzorec 11: Transformační vzorec.....	22
Vzorec 12: Užitek vícekritériální funkce.....	23
Vzorec 13: Výpočet normalizované kritériální matice .....	24
Vzorec 14: Výpočet vážené normalizované matice.....	24
Vzorec 15: Ideální varianta.....	24
Vzorec 16: Bazální varianta.....	24
Vzorec 17: Výpočet relativního ukazatele vzdáleností.....	25

## **Seznam grafů**

Graf 1: Porovnání dominantních variant .....	40
Graf 2: Porovnání kompromisní a skutečně vybrané varianty .....	41

## **Seznam matic**

Matice 1: Saatyho matice.....	18
-------------------------------	----