

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Bakalářská práce

**Využití vícekriteriální analýzy variant k výběru sklářské
tavící pece**

Zuzana Hánová

© 2018 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zuzana Hánová

Provoz a ekonomika

Název práce

Využití vícekritériální analýzy variant k výběru sklářské tavící pece

Název anglicky

Multiple-criteria analysis in a choice of glass melting furnace

Cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce je doporučení vhodného dodavatele sklářské tavící pece pro firmu Ajeto Czech Glass Craft spol. s.r.o. s využitím vícekritériální analýzy variant. Cílem teoretické části je seznámení s problematikou vícekritériální analýzy variant, popis jednotlivých metod, které lze využít, a jejich komparace. Cílem praktické části je doporučení sklářské pece pro firmu Ajeto Czech Glass Craft spol. s.r.o.

Metodika

Bakalářská práce je složena ze dvou částí, teoretické a praktické. V první části práce je na základě studia odborné literatury popsán vhodný výběr kompromisní varianty s pomocí vícekritériální analýzy variant. Dále jsou popsány jednotlivé metody, které lze k výběru využít. Metody jsou vzájemně porovnány z hlediska vhodnosti jejich použití. Druhá část práce směřuje k doporučení vhodného dodavatele sklářské pece. Je zde uveden výpočet zvolenou metodou na základě požadavků firmy Ajeto Czech Glass Craft spol. s.r.o., která si zvolila kritéria a jejich váhy. V závěru práce je doporučen dodavatel sklářské pece na základě výpočtu, toto doporučení je porovnáno s rozhodnutím firmy o výběru.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

vícekriteriální analýza variant, kritéria, varianty, kriteriální matice, váhy kritérií, kompromisní varianta, alternativy rozhodnutí

Doporučené zdroje informací

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.

ŠVECOVÁ, L. – FOTR, J. *Manažerské rozhodování : postupy, metody a nástroje*. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-59-0.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Robert Hlavatý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 21. 2. 2018

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2018

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 27. 02. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití vícekriteriální analýzy variant k výběru sklářské tavící pece" jsem vypracovala 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 3. 2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Robertovi Hlavatému, Ph.D. za jeho vstřícný přístup, odborné rady a cenné připomínky udělované v průběhu zpracování této práce.

Dále bych chtěla poděkovat Jaroslavu Turnhöferovi, řediteli společnosti Ajeto Czech Glass Craft spol. s r. o., za poskytnutí klíčových informací pro zpracování práce.

Využití vícekriteriální analýzy variant k výběru sklářské tavící pece

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá řešením rozhodovacího problému společnosti Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o., a to konkrétně výběru vhodného dodavatele sklářské tavící pece. V úvodu teoretické části této práce je nejprve nastíněna problematika rozhodovacích procesů s možností jejich řešení. Následně se práce zaměřuje podrobněji na samotné vícekriteriální rozhodování. V této části jsou objasněny metody, které je při vícekriteriálním rozhodování možno použít ať už pro stanovení vah kritérií, či výběru vhodné kompromisní varianty, společně s vhodností jejich užití. Praktická část bakalářské práce se již zaměřuje na řešení samotného rozhodovacího procesu. Z počátku jsou zde vymezeny požadavky, jež společnost Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o. klade na tavící pec a na jejichž základě jsou následně stanovena rozhodovací kritéria. Dále jsou zde představeny návrhy společností na vypracování projektu, mezi nimiž bude probíhat výběr. Výpočet vedoucí ke zvolení kompromisní varianty je proveden metodou TOPSIS a váhy jednotlivých kritérií jsou stanoveny s pomocí Saatyho metody. Na základě výpočtu je zvolena jedna varianta, která je doporučena společnosti Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o. jako nejvýhodnější dle daných kritérií. V závěru této části práce je ještě provedena analýza citlivosti na změnu vah kritérií.

Klíčová slova: rozhodovací proces, vícekriteriální analýza variant, vícekriteriální rozhodování, kompromisní varianta, kritériální matice, kritérium, váhy kritérií, metoda TOPSIS, Saatyho metoda, sklářská tavící pec

Multiple-criteria analysis in a choice of glass melting furnace

Abstract

This bachelor thesis deals with solution of the decision problem of Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o., namely the selection of a suitable supplier of a glass melting furnace. At the beginning of the theoretical part of this thesis is first outlined the issue of decision processes with the possibility of their solution. Subsequently, the thesis focuses more on the multi-criteria decision-making itself. This section explains the methods that can be used for multi-criteria decision-making whether to determine the criteria weights or to select a suitable compromise variant together with the suitability of their use. The practical part of the bachelor thesis focuses on solving the decision-making process itself. At the outset, there are requirements defined by Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o. placed on a melting furnace and based on them the decision criteria are subsequently determined. In addition, there are presented proposals of companies for the preparation of a project, among which a selection will be held. The calculation leading to the selection of the compromise variation is done by the TOPSIS method and the weights of the individual criteria are determined using the Saaty 's method. Based on the calculation, one option is selected, which is recommended to Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o. as the most advantageous according to given criteria. At the end of this part of the thesis, an analysis of the sensitivity to the weighting of the criteria is carried out.

Keywords: decision-making process, multi-criteria analysis of variants, multi-criteria decision making, compromise variant, critical matrix, criterion, criteria weight, TOPSIS method, Saaty 's method, glass melting furnace

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl práce a metodika	12
2.1	Cíl práce	12
2.2	Metodika	12
3	Teoretická východiska.....	13
3.1	Rozhodovací proces	13
3.1.1	Struktura rozhodovacích procesů	13
3.1.2	Prvky rozhodovacího procesu	14
3.1.3	Rozhodování za jistoty, nejistoty a za rizika.....	15
3.1.4	Rozhodovací model.....	17
3.2	Vícekritériální rozhodování	18
3.2.1	Model vícekritériálního rozhodování.....	19
3.2.2	Členění úloh vícekritériální analýzy variant	23
3.3	Metody stanovení vah kritérií	24
3.3.1	Stanovení vah kritérií z ordinální informace o preferencích kritérií.....	24
3.3.2	Stanovení vah kritérií z kardinální informace o preferencích kritérií	25
3.4	Metody výběru kompromisních variant	27
3.4.1	Metody založené na maximalizaci užitku	28
3.4.2	Metody založené na minimalizaci vzdálenosti od ideální varianty	29
4	Vlastní práce	32
4.1	Představení společnosti Ajeto Czech Glass Craft spol. s r. o.....	32
4.2	Sklářská tavící pec.....	32
4.3	Vznik potřeby nové tavící pece.....	32

4.4	Požadavky na sklářskou pec.....	33
4.5	Nabídky vypracování projektu.....	34
4.5.1	Teplotechna-Prima, s. r. o.	34
4.5.2	Teplotechna Ostrava a. s.	34
4.5.3	Teplotechna Průmyslové pece, s. r. o.....	34
4.5.4	PKI – Teplotechna Brno s. r. o.....	35
4.5.5	Desko a. s.	35
4.5.6	P-D Refractories CZ a. s.	35
4.5.7	Průmyslová keramika, spol. s. r. o.	35
4.5.8	Kerval, a. s. Karlštejn.....	35
4.6	Kritéria výběru	36
4.7	Kritériální matice	37
4.8	Test dominance	39
4.9	Rozhodování o výběru dodavatele.....	39
4.9.1	Výpočet vah kritérií.....	40
4.9.2	Výpočet metodou TOPSIS.....	42
4.10	Analýza citlivosti na změnu vah kritérií.....	46
5	Zhodnocení	48
6	Závěr.....	50
7	Seznam použitých zdrojů	52

Seznam tabulek

Tabulka 1: Možné vyjádření subjektivních pravděpodobností.....	17
Tabulka 2: Rozhodovací tabulka – výplatní matice.....	18
Tabulka 3: Model vícekritériální analýzy variant.....	19
Tabulka 4 - Stupnice pro vyjádření preferencí v Saatyho metodě.....	25
Tabulka 5: Hodnoty náhodného indexu RI (1. část).....	27
Tabulka 6: Hodnoty náhodného indexu RI (2. část).....	27
Tabulka 7: Kritériální matice (1. část).....	38
Tabulka 8: Kritériální matice (2. část).....	38
Tabulka 9: Kritériální matice – kvantitativní ohodnocení (1. část).....	40
Tabulka 10: Kritériální matice – kvantitativní ohodnocení (2. část).....	40
Tabulka 11: Saatyho matice.....	41
Tabulka 12: Váhy kritérií.....	42
Tabulka 13: Normalizovaná vážená kritériální matice.....	43
Tabulka 14: Vzdálenosti od ideální a bazální varianty.....	44
Tabulka 15: Výsledné pořadí variant 1.....	44
Tabulka 16: Výsledné pořadí variant 2.....	45
Tabulka 17: Porovnání vah kritérií.....	46
Tabulka 18: Výsledné pořadí variant při změně váze kritéria cena.....	47

Seznam grafů

Graf 1: Citlivost na změnu váhy kritéria cena.....	48
--	----

1 Úvod

Rozhodování je proces, který provádíme několikrát každý den, neustále se o něčem rozhodujeme. Zpravidla se jedná o intuitivní rozhodnutí, to nám při řešení každodenních problémů naprosto postačí. Někdy je ale třeba učinit zásadnější rozhodnutí. V takovém případě už rozhodování pouze dle intuice nebývá efektivní, a proto je vhodné použít vícekriteriální rozhodování.

Ať už rozhodujeme o čemkoliv, zpravidla se jedná o rozhodování vícekriteriální, protože na vybírání předmět máme vždy hned několik požadavků zároveň, jež stanovují kritéria rozhodování. Velký vliv na rozhodování má počet kritérií. V případě, že se rozhodujeme na základě jednoho či dvou kritérií, jsme schopni rozhodnutí provést intuitivně. S narůstajícím počtem kritérií i možných variant řešení však přímo úměrně narůstá složitost rozhodovacího procesu. V takových situacích je zapotřebí využít některý z modelů vícekriteriálního rozhodování.

Klasická rozhodnutí, která provádíme v každodenním životě, jsou zpravidla rozhodnutí, která závažně neovlivní náš následující život. Rozhodnutí závažnějšího charakteru nalezneme i v soukromém životě, příkladem může být rozhodnutí o hypotečním úvěru nebo třeba o volbě formy podnikání. Zásadní rozhodnutí jsou také prováděna ve firmách, příkladem takového rozhodování je tato bakalářská práce, jež se zaměřuje na volbu vhodného dodavatele sklářské tavící pece. Rozhodování tohoto typu prováděna ve firmách jsou závažná především proto, že se jedná zpravidla koupi majetku ve vysoké hodnotě a dále může být požadována vysoká životnost předmětu. Z tohoto důvodu je zapotřebí, aby bylo rozhodnuto velmi pečlivě s ohledem na ekonomiku firmy, protože špatné rozhodnutí by v některých případech mohlo ohrozit cash-flow společnosti natolik, že by mohlo vést až k zániku firmy.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem bakalářské práce je na základě vícekritériální analýzy variant vybrat vhodného dodavatele sklářské tavící pece pro společnost Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o.

Pro splnění hlavního cíle je třeba nejprve dosáhnout cílů dílčích. Prvním takovým cílem je dle získaných informací od zadavatele projektu stanovit možné varianty řešení a kritéria rozhodování, jež jsou nezbytnými složkami rozhodovacího modelu. Dále je zapotřebí výpočtem určit váhy kritérií. Po sestavení rozhodovacího modelu je třeba provést výpočet určující preferenční pořadí všech nabídek, dle něhož bude doporučena nejlepší kompromisní varianta. Posledním cílem je stanovit vliv cenové preference na celkové pořadí nabídek.

2.2 Metodika

Bakalářská práce se skládá ze dvou částí, teoretické a praktické. Teoretická část práce je zaměřena na studium odborné literatury, kde je čerpáno především z monografií a odborných článků. Je zde rozpracována problematika rozhodování a dále se tato část zaměřuje na různé metody, jež lze při rozhodování využít, společně s vhodností jejich použití.

V praktické části práce vycházíme z poznatků nashromážděných studiem literatury, které využíváme při řešení reálného rozhodovacího problému. Nejprve jsou od zadavatele projektu získány důležité informace o sklářské peci a požadavky na pec novou, dle nichž jsou stanoveny varianty a kritéria, jež společně vytváří rozhodovací model. Dále je testem dominance zjištěno, zda není nějaká varianta variantou dominovanou, a dle stanovené aspirační úrovně jsou z rozhodování vyřazeny varianty, které minimální požadavek nesplňují. Váhy jednotlivých kritérií jsou stanoveny Saatyho metodou a testem konzistence je ověřeno, zda je matice konzistentní. Rozhodovací model je dále využit pro výpočet metodou TOPSIS vedoucí k výběru vhodné kompromisní varianty, dle minimální vzdálenosti od varianty ideální. V závěru je otestována citlivost rozhodovacího modelu na změnu váhy kritéria Cena. Všechny výpočty uvedené v této práci byly provedeny s využitím programu Microsoft Excel.

3 Teoretická východiska

V první části bakalářské práce bude zpracována problematika rozhodovacích procesů. Nejprve budou rozhodovací procesy charakterizovány obecně a následně budou vymezeny různé metody řešení rozhodovacích procesů.

3.1 Rozhodovací proces

Rozhodovacím procesem se zabývají autoři jako Fotr (2010) nebo Ramík (2000), jde o proces řešení rozhodovacích problémů, tedy problémů s více než jednou variantou řešení. Z toho plyne, že základními vlastnostmi rozhodování jsou proces volby, tj. posuzování jednotlivých variant, a výběr rozhodnutí, tj. varianty, která je doporučena k realizaci. Jestliže vycházíme z tohoto předpokladu, pak je jednoznačné, že problémy s jediným řešením nejsou rozhodovacími procesy. (Fotr, 2010)

3.1.1 Struktura rozhodovacích procesů

Vzájemně provázané činnosti rozhodovacích procesů můžeme dle Fotra (2010) rozdělit do několika fází (etap) rozhodovacích procesů. Rozčlenění do jednotlivých fází může být provedeno několika způsoby. V této práci je upřednostněn Simonův přístup, který dělí rozhodovací proces do 4 etap.

1. analýza okolí (intelligence activity)
2. návrh řešení (design activity)
3. volba řešení (choice activity)
4. kontrola výsledků (review activity)

Předmětem fáze intelligence activity je zjišťování podmínek, kvůli kterým vznikla potřeba rozhodovat. Rozhodovací problém je identifikován a jsou stanoveny jeho příčiny. Ve fázi design activity jsou hledány a analyzovány možné směry činnosti. Díky analýze v této etapě jsou také vymezeny varianty řešení problému, které mohou nastat. Fáze choice activity zahrnuje samotný výběr nejlepší možné varianty, jež bude následně doporučena k realizaci. V závěrečné fázi review activity jsou vyhodnocovány skutečně dosažené výsledky s využitím vybrané kompromisní varianty. Hodnocení probíhá na základě porovnání dosažených výsledků s předem stanovenými cíli. Jestliže jsou výsledky této fáze neuspokojivé, mohou vést k zahájení nového rozhodovacího procesu.

3.1.2 Prvky rozhodovacího procesu

Abychom mohli při řešení rozhodovacího problému využít kvantitativní metody a matematické modely, je třeba znát jednotlivé prvky rozhodovacího procesu a rozumět jim (Šubrt, 2011). Těmito prvky jsou:

- objekt rozhodování,
- subjekt rozhodování,
- alternativy rozhodnutí,
- stavy okolností,
- výplaty alternativ,
- cíl rozhodování,
- kritéria rozhodování,
- jistota, riziko, nejistota.

Objektem rozhodování je dle Šubrta (2011) daná konfliktní situace, v níž je třeba zvolit právě jedno z možných rozhodnutí. O konflikt jde proto, že je nutné vybrat jedinou variantu z alespoň dvou možných. Fotr (2010) vidí objekt rozhodování jako oblast organizační jednotky, v jejímž rámci vznikla potřeba rozhodovat.

Subjektem rozhodování je samotný rozhodovatel, který má rozhodnutí učinit. Je jím tedy osoba, která volí variantu určenou k realizaci. Dle Fotra (2010) může být subjektem rozhodování jednatel, pak jde o individuální subjekt rozhodování, nebo skupina lidí, tedy kolektivní subjekt rozhodování. V případě kolektivního subjektu rozhodování je o nejlepší variantě rozhodnuto hlasováním, kdy vítězí názor většiny, nebo je potřeba souhlas všech členů skupiny.

Pod pojmem alternativa nebo též varianta řešení problému si představujeme určitý způsob chování rozhodovatele, s jehož pomocí rozhodovatel problém vyřeší, tj. budou splněny stanovené cíle. Jednotlivé alternativy se musí vzájemně vylučovat. Jestliže rozhodovatel vybere jednu variantu, nemůže zároveň vybrat i jinou. (Šubrt, 2011)

Stavy okolností jsou chápány jako scénáře situací, jež mohou nastat po realizaci varianty (Fotr, 2010). Stejně tak jako alternativy se i stavy okolností musí vzájemně vylučovat, vždy

může nastat jen jeden stav okolností. Ovlivňují výsledky daných variant a mají rozhodující dopad na provedená rozhodnutí. (Šubrt, 2011)

Pojmem výplata alternativy dle Šubrt (2011) rozumíme ohodnocení jejího výsledku, pokud nastane daný stav okolností.

Cílem rozhodování je stav, který má být dosažen vyřešením problému. Jedná se tedy o volbu nejvýhodnější alternativy, tj. takové, která za všech možných stavů okolnosti dosáhne nejlepších výsledků. Rozhodovatel ale nevolí vždy jen podle maximální či minimální výplaty (jedná-li se o výnosy či náklady). Velmi důležitá je zde také averze rozhodovatele k riziku, tj. zda se jedná o optimistu či pesimistu a také záleží na jeho zkušenostech s řešením podobných problémů. Optimisté a lidé s menšími životními zkušenostmi nebo přístupní riziku volí zpravidla extrémní hodnoty. Naopak pesimisté, lidé opatrnější nebo odmítající riziko se snaží vyhnout velké ztrátě, která by mohla nastat. (Šubrt, 2011)

Hlediska, s jejichž pomocí je posuzována výhodnost možných variant rozhodnutí, se nazývají kritéria rozhodování. Ta si volí sám rozhodovatel dle svých preferencí. Zpravidla jsou odvozovány od stanovených cílů řešení. Jedná se o

- maximalizaci (např. zisku),
- minimalizaci (např. nákladů, produkce zplodin),
- popřípadě dosažení určitých hodnot.

Rozhodovací kritéria mohou být stanovena buď kvantitativně, nebo kvalitativně. Kvantitativní kritéria jsou vyjádřena číselně, příkladem může být zisk, rentabilita kapitálu apod. Oproti tomu kritéria kvalitativní se vyjadřují slovně. Jedná se například o barvu výrobku, ekologickou zátěž, dopad na jméno firmy aj. (Fotr, 2010)

3.1.3 Rozhodování za jistoty, nejistoty a za rizika

Jak uvádí Fiala (2008), může probíhat rozhodování za tři možných stavů, a to za jistoty, nejistoty nebo za rizika. Jednotlivé varianty musíme hodnotit a posuzovat podle budoucích situací, při nichž bude daná alternativa řešení realizována. Nejčastěji je možnost, že jistá situace nastane, vyjadřována pomocí pravděpodobnosti. Proto je významným prvkem rozhodovacího

procesu vektor pravděpodobností p , také nazýván jako vektor rizika nebo jen riziko. Skládá se z pravděpodobností p_j , které představují možnost nastání daného stavu okolností. (Šubrt, 2011)

Pravděpodobnosti realizace určitého stavu okolností bývají velmi často využity při výpočtech potřebných pro volbu vhodné alternativy řešení. Proto je nutné stanovovat je rozvážně, jelikož jejich hodnoty mohou mít zásadní vliv na konečné rozhodnutí. Stanovení pravděpodobností realizace může být objektivní nebo subjektivní.

Objektivní pravděpodobnosti jsou určovány dle statistických šetření provedených v minulosti. Statistické údaje ovšem nelze vždy získat nebo jsou pouze spíše podpůrného charakteru.

Oproti tomu pravděpodobnosti subjektivní vyjadřují míru realizace daného jevu na základě přesvědčení samotného rozhodovatele. Z tohoto důvodu je vhodné využití týmové spolupráce expertů, kde jsou využity znalosti, zkušenosti a také intuice. (Šubrt, 2011)

Abychom vyjádřili pravděpodobnosti objektivní i subjektivní číselně, využíváme hodnoty z intervalu $\langle 0; 1 \rangle$, resp. $\langle 0 \%; 100 \%$. Hodnota 0 představuje nulovou pravděpodobnost, že daná situace nastane. Číslo 1 pak znamená stoprocentní pravděpodobnost nastání situace. Pravděpodobnosti můžeme vyjádřit i slovně. Abychom ale mohli využít k rozhodování matematický model, je nutné slovní vyjádření převést na číselnou hodnotu. Pro tento převod můžeme využít následující tabulku (Tabulka 1).

Tabulka 1: Možné vyjádření subjektivních pravděpodobností

Slovní	Číselné
Zcela vyloučeno	0
Krajně nepravděpodobné	0,1
Dosti nepravděpodobné	0,2 – 0,3
Nepravděpodobné	0,4
Pravděpodobné	0,6
Dosti pravděpodobné	0,7 -0,8
Nanejvýš pravděpodobné	0,9
Zcela jisté	1

Zdroj: Šubrt (2011)

Při rozhodování za jistoty rozhodovatel s jistotou ví, jaký stav okolností nastane a jaké důsledky budou mít jednotlivé varianty. Tedy pravděpodobnost p_j stavu okolností J , který nastane, je rovna jedné a pravděpodobnosti p_j ostatních stavů okolností jsou rovny nule.

V případě rozhodování za rizika rozhodovatel zná budoucí stavy okolností, které mohou nastat s určitou pravděpodobností. To ale rozhodovatel neví s jistotou a pouze na základě zpráv a poznatků usuzuje, který stav pravděpodobně nastane. Pro pravděpodobnosti p_j platí $0 \leq p_j \leq 1$ a zároveň platí, že součet pravděpodobností p_j je roven jedné, tedy že žádný jiný stav okolností nemůže nastat.

Poslední možností je rozhodování za úplné nejistoty. V takovém případě rozhodovatel sice zná možné budoucí stavy okolností, ale nezná pravděpodobnosti, se kterými mohou nastat. (Fotr, 2010)

3.1.4 Rozhodovací model

Alternativy rozhodnutí, stavy okolností a výplaty jsou podstatnými složkami rozhodovacího procesu. Výplaty představují ohodnocení dané alternativy za všech možných stavů okolností, tj. výsledek, kterého bude dosaženo realizací této alternativy při určitém stavu okolností. Tím bývá nejčastěji ekonomický efekt, čímž může být zisk nebo náklad, popřípadě ztráta. Výchet alternativ a stavů okolností společně tvoří výplatní matici (Tabulka 2). Jedná se

o matici typu $m \times n$, kdy m představuje počet alternativ a n počet stavů okolností. Prvky matice jsou jednotlivé výplaty v_{ij} .

Tabulka 2: Rozhodovací tabulka – výplatní matice

		Stavy okolností			
		S_1	S_2	...	S_n
Alternativy	A_1	v_{11}	v_{12}	...	v_{1n}
	A_2	v_{21}	v_{22}	...	v_{2n}

	A_m	v_{m1}	v_{m2}	...	v_{mn}

Zdroj: Šubrt (2011)

Rozhodovací model lze zaznamenat i graficky, tato možnost je nazývána rozhodovacím stromem. Rozhodovací uzel R je kořenem rozhodovacího stromu, představuje chvíli, při níž je realizováno rozhodnutí. V grafu je rozhodovací uzel znázorňován čtvercem. Z rozhodovacího uzlu vycházejí hrany jednotlivých alternativ, které představují jednotlivá rozhodnutí a směřují k situačním uzlům M. Ty zastupují okamžik realizace dané alternativy za určitého stavu okolností, jenž alternativu ovlivnil. Stavy okolností jsou znázorňovány hranami vycházejícími ze situačních uzlů, které jsou zobrazeny kroužky. Poslední složkou rozhodovacího stromu jsou pomyslné listy, což jsou jednotlivé výsledky rozhodovacího procesu ohodnocené výplatami v_{ij} .

Rozhodovací stromy je výhodné využít především v oblasti vrcholového řízení, kde pomáhají k pochopení složitých rozhodovacích problémů. Poukazují na další možné kombinace stavů okolností, jaké mohou nastat, a jejich důsledky. Napomáhají důkladnému promyšlení každé varianty a také ponoukají rozhodovatele k nalezení dalších okolností nejistoty, které by mohly ovlivnit celkový výsledek rozhodovacího procesu. (Šubrt, 2011)

3.2 Vícekriteriální rozhodování

Základní rozhodovací modely řeší rozhodovací problémy pouze podle jediného optimalizačního kritéria, jak píše Jablonský (2002). V reálných rozhodovacích procesech je ovšem často potřeba vybírat nejlepší řešení problému dle více rozhodovacích kritérií. Tato kritéria většinou nebyvají ve vzájemném souladu, a tak nejlépe ohodnocená varianta dle jednoho

kritéria zpravidla není nejlépe hodnocená dle kritéria jiného. Proto cílem rozhodování není výběr optimální varianty, ale varianty kompromisní.

Úlohy řešící vícekritériální rozhodování se dělí do dvou skupin podle způsobu, kterým je určena množina variant řešení. Pokud jsou varianty definovány jejich seznamem nebo výčtem, jedná se o úlohy vícekritériálního hodnocení variant, popřípadě vícekritériální analýzy variant. Jestliže jsou varianty určeny soustavou omezujících podmínek, jde o vícekritériální programování. Tato práce se bude zabývat první variantou, tedy vícekritériálním hodnocením variant. (Jablonský, 2002)

3.2.1 Model vícekritériálního rozhodování

Model vícekritériální analýzy variant, který představuje Tabulka 3, řeší problémy výběru jedné či více variant, které mají být následně doporučeny k realizaci. Snahou je, aby byl rozhodovatel při rozhodování co nejvíce objektivní, k čemuž využívá různé postupy a metody analýzy variant.

V těchto modelech je dána diskrétní (konečná) množina variant o m prvcích. Tyto varianty jsou pak hodnoceny dle n kritérií. Varianty jsou definovány jako konkrétní rozhodovací možnosti, jež jsou předmětem samotného rozhodování a mají být realizovány. Za každého kritéria dosahují varianty svého výsledku, tj. výplaty v_{ij} . Kritéria představují hlediska hodnocení variant, mohou být stanovena kvalitativně i kvantitativně (Šubrt, 2011).

Tabulka 3: Model vícekritériální analýzy variant

		Kritéria			
		f_1	f_2	...	f_n
Varianty	a_1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}
	a_2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}

	a_m	y_{m1}	y_{m2}	...	y_{mn}

Zdroj: vlastní zpracování

Velice důležitá je volba jednotlivých kritérií, proto při jejich sestavování musíme dodržet určitá pravidla. Kritéria musí být na sobě nezávislá, mají zahrnovat všechna hlediska výběru, ale zároveň jich nesmí být příliš mnoho, aby se problém nestal nepřehledným.

Společný výčet všech variant a kritérií vytváří kritériální matici Y . Ta je typu $m \times n$ o m variantách a n kritériích. V použité matici jsou varianty označeny symbolem a , kritéria symbolem f .

$$Y = \begin{matrix} & f_1 & f_2 & \dots & f_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1.1)$$

Jak bylo výše uvedeno, nejvýhodnější varianta řešení je vybírána dle kritérií. Ta se rozlišují podle různých hledisek. Podle povahy kritéria dělíme na:

- maximalizační kritéria
- minimalizační kritéria

U maximalizačních kritérií se předpokládá, že nejlepší varianta dosahuje dle tohoto kritéria nejvyšší hodnoty. Naopak u minimalizačních kritérií ukazují na nejlepší variantu hodnoty nejnižší.

Další možností členění kritérií je dle hlediska kvantifikovatelnosti, a to na:

- kvantitativní kritéria
- kvalitativní kritéria

Hodnoty kvantitativních kritérií představují objektivně měřitelné údaje, proto jsou tato kritéria také označována jako objektivní. Oproti tomu u kvalitativních kritérií není možné hodnoty objektivně změřit. Velmi často se jedná o hodnoty, které uživatel pouze subjektivně odhadl. Z tohoto důvodu se využívají různé bodové stupnice nebo relativní ohodnocení variant. (Šubrt, 2011)

Při řešení problému je podstatnou informací, jestli a jak je nějaké kritérium preferováno před kritériem jiným. Vyjádření důležitosti kritéria v porovnání s ostatními kritérii je nazýváno preferencí kritéria. Stanovení preferencí je velmi náročným úkolem a většinou vyplývá ze subjektivního názoru rozhodovatele. Pokud je preference známa, můžeme ji vyjádřit různými způsoby. Určujeme ji

- aspiračními úrovněmi kritérií
- pořadím kritérií
- váhami jednotlivých kritérií
- způsobem kompenzace kritériálních hodnot
- nebo vůbec není známa.

Aspirační úroveň kritéria je taková hodnota, alespoň které má být dosaženo. Neudává přímo preferenci kritéria, pouze říká, čeho má být dosaženo. Pro minimalizační kritérium se tedy jedná o nejvyšší přípustnou hodnotu kritéria, naopak pro maximalizační kritérium o hodnotu nejnižší. Z toho vyplývá, že čím přísnější požadavek aspirační úroveň udává, tím významnější dané kritérium je.

Pořadí kritérií udává uspořádání kritérií od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Neobsahuje ale informaci, kolikrát je jedno kritérium významnější než jiné. V tomto ohledu jsou výhodnější váhy kritérií.

Váha představuje relativní důležitost daného kritéria v jeho porovnání s ostatními kritérii. Jedná se o hodnotu z intervalu $\langle 0; 1 \rangle$ a součet vah všech kritérií je roven jedné.

V některých situacích, jak uvádí Šubrt (2011), můžeme špatné hodnoty některých kritérií vyrovnávat hodnotami ostatních kritérií, které jsou naopak lepší. V takovém případě mluvíme o kompenzaci ohodnocení variant dle jednotlivých kritérií a ta je vystihována mírou substituce kritériálních hodnot.

Některé varianty mají své speciální vlastnosti, které budou vymezeny nyní.

Mezi variantami můžeme nalézt variantu dominující varianty ostatní, tedy takovou variantu, která je dle všech kritérií ohodnocena lépe než jiné, tj. dominované varianty. Tedy jestliže jsou všechna kritéria maximalizační, dominuje varianta a_i variantu a_j , pokud platí, že výplaty $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik}) \geq (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jk})$ a zároveň existuje alespoň jedno kritérium, pro které platí, že $y_{il} > y_{jl}$. Existují ale i případy, kdy dominovanou a dominující variantu není možné určit.

Dle Jablonského (2002) jsou varianty vzájemně nedominované, jestliže jedna nedominuje druhou a naopak. Tedy varianta a_i nedominuje variantu a_j a zároveň varianta a_j nedominuje variantu a_i .

Varianta, kterou nedominuje žádná jiná varianta, je variantou nedominovanou (Fábry, 2011). Můžeme ji označit také jako variantu efektivní nebo paretoovskou. Pak A_N bude označením množiny všech nedominovaných variant. Jelikož cílem řešení problému je výběr nejlepší varianty, plyne z výše uvedeného, že nejvýhodnější varianty se nacházejí pouze mezi paretoovskými, tj. nedominovanými variantami.

Abychom dokázali co nejlépe posoudit kvalitu jednotlivých variant, je vhodné znát případnou nejlepší a nejhorší možnou variantu. Potenciální nejlepší varianta se nazývá variantou ideální, tato varianta vykazuje u všech kritériích současně nejlepší možné hodnoty. Opakem varianty ideální je varianta bazální, ta dosahuje vždy nejhorších hodnot. Ideální varianty zpravidla neexistují. Pokud by ideální varianta skutečně existovala, byla by jedinou nedominovanou variantou, a tedy i variantou optimální pro řešení problému. Dosahovala by totiž ve všech kritériích optimálních hodnot.

Z výše uvedeného vyplývá, že v reálné situaci je hledána varianta kompromisní, což je nedominovaná varianta, která je doporučena k realizaci. Volba konkrétní kompromisní varianty závisí vždy na vybraném postupu řešení. Cílem řešení problému může být nalezení jediné kompromisní varianty. Pakliže nehledáme jedinou variantu, můžeme najít určité množství efektivních variant a zavrhnout varianty neefektivní. Jestliže hledáme právě q variant, je účelné varianty uspořádat a vyznačit prvních q efektivních variant.

Kompromisní varianta může:

- být takovou variantou, jež dosahuje nejvyššího součtu hodnot určitým způsobem normalizovaných ukazatelů.
- vyplynout z párového porovnání všech variant dle všech kritérií.
- být variantou, která je nejméně vzdálená od varianty ideální.

Varianta doporučená k realizaci (kompromisní varianta) může být určena i jiným způsobem, vždy závisí na daném typu rozhodovacího problému. Zásadní podmínkou je ovšem nedominovanost kompromisní varianty (Šubrt, 2011).

3.2.2 Členění úloh vícekriteriální analýzy variant

Úlohy vícekriteriální analýzy variant se dle Šubrt (2011) člení hlavně podle dvou základních hledisek. Prvním hlediskem je cíl řešení úlohy a dle něj jsou rozlišovány tři skupiny úloh.

- Úlohy, při jejichž řešení je hledána jediná kompromisní varianta. Tato varianta je z množiny možných variant nejvhodnější pro řešení daného problému. Při řešení úloh tohoto typu se využívá například metoda váženého součtu, metoda TOPSIS a jiné.
- Úlohy, v nichž si klademe za cíl vytvořit úplné uspořádání množiny variant, a to zpravidla od nejlepší k nejhorší variantě.
- Úlohy, ve kterých se dělí množina variant na varianty efektivní a neefektivní.

Druhým hlediskem je typ informace o preferencích jednotlivých kritérií a variant. Informace o preferencích může být vyjádřena čtyřmi způsoby:

- Žádná informace – informaci o preferencích nelze získat, neexistuje. Tento stav může nastat pouze u kritérií. Kdybychom neznali preference mezi variantami, nemohli bychom úlohu vyřešit.
- Nominální informace – vyjadřována s využitím aspiračních úrovní. Může být stanovena jen u kritérií, protože udává, jaké nejhorší hodnoty má být alespoň dosaženo.
- Ordinální informace – podává informaci o preferencích kritérií jejich uspořádáním podle významnosti, nebo variant uspořádáním dle jejich ohodnocení u jednotlivých kritérií
- Kardinální informace – může být stanovena kvantitativně i kvalitativně. Říká, o kolik, popřípadě jak moc, je jedno hodnocení lepší než druhé. U kritérií jsou takto vyjádřeny jejich váhy. Pokud kardinální informace stanovuje preferenci variant, jedná se o konkrétní, zpravidla číselné, vyjádření ohodnocení.

3.3 Metody stanovení vah kritérií

Výchozím krokem pro většinu metod vícekritériálního rozhodování bývá zpravidla stanovení vah kritérií.

Váhy kritérií dle Fotra (2010) číselně vyjadřují důležitost daných kritérií dle cíle rozhodování. S rostoucí významností kritéria roste i jeho váha a naopak. Aby bylo možné porovnání vah souboru kritérií, jež můžeme získat různými metodami, bývají váhy zpravidla normovány, abychom jejich součtem získali hodnotu jedna.

Získání vah přímo v numerické podobě nebývá snadné, často jsou zadány spíše slovně. Proto je vhodné využít k číselnému stanovení vah některou z metod odhadu vah kritérií. Jak tvrdí Jablonský (2002), jde zpravidla o jednoduché postupy, které vytvoří váhy ze subjektivní informace od rozhodovatele.

3.3.1 Stanovení vah kritérií z ordinální informace o preferencích kritérií

3.3.1.1 Metoda pořadí

Šubrt (2011) uvádí, že metoda pořadí se zpravidla využívá pro stanovení vah kritérií, pokud jejich významnost hodnotí několik expertů. Ti kritéria seřadí od nejvýznamnějšího po nejméně významné. Přičemž nejdůležitější kritérium je ohodnoceno n body, kdy n je počet kritérií, následující $n - 1$ body atd. Nejméně významné kritérium pak ohodnotí hodnotou jedna. Pokud mají kritéria stejnou váhu, jsou jim přiřazeny body dle průměrného pořadí.

Váhy všech kritérií jsou následně určeny tak, že sečteme všechny body a vydělíme je celkovým počtem rozdělených bodů. Z toho plyne, že celkový součet vah všech kritérií bude roven jedné.

Pakliže j -té kritérium je ohodnoceno b_j body, je váha kritéria vypočtena s pomocí následujícího vzorce (1.2). Ten je nazýván normalizací vah kritérií, protože normalizuje informaci o preferenci kritérií.

$$v_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j}, j = 1, \dots, n \quad (1.2)$$

3.3.2 Stanovení vah kritérií z kardinální informace o preferencích kritérií

3.3.2.1 Bodovací metoda

Dle Jablonského (2002) je bodovací metoda založena na předpokladu, že rozhodovatel dokáže ohodnotit důležitost kritérií kvantitativně, a to dle předem zvolené bodovací stupnice. Lze využít i desetinná čísla.

Metoda se využívá obdobně jako metoda pořadí. Jestliže tedy bude použit symbol b_j pro označení bodového ohodnocení j -tého kritéria, budou váhy kritérií získány i v tomto případě s využitím vztahu 1.2.

Stejně tak jako metoda pořadí může, ale nemusí, být i metoda bodovací prováděna za účasti expertů (v takovém případě by symbol b_j představoval součet bodů od všech expertů).

3.3.2.2 Saatyho metoda

Jak píše Jablonský (2002) Saatyho metoda je už metodou propracovanější, a proto je také jednou z nejvyužívanějších metod odhadu vah kritérií. Jedná se o metodu kvantitativního párového porovnání, k němuž jsou využity hodnoty na stupnici od 1 do 9, je možné využít i mezistupně (hodnoty 2, 4, 6, 8). Jednotlivé stupně preference jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 4) a dále můžeme stupnici hodnocení nalézt také přímo v práci Thomase L. Saatyho z roku 1990.

Tabulka 4 - Stupnice pro vyjádření preferencí v Saatyho metodě

1	rovnocenná kritéria i a j
3	slabě preferované kritérium i před j
5	silně preferované kritérium i před j
7	velmi silně preferované kritérium i před j
9	absolutně preferované kritérium i před j

Zdroj: Šubrt (2011)

Hodnocení provádí vždy pouze jeden expert. Vždy provede vzájemné porovnání dvou kritérií a velikost preference i -tého kritéria oproti j -tému kritériu zapíše do níže uvedené Saatyho matice $S(s_{ij})$. Párovým porovnáním se ve své práci podrobně zabývají Bozóki a Rapcsák (2008).

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ 1/s_{12} & 1 & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/s_{1m} & 1/s_{12} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (1.3)$$

Mají-li i -té i j -té kritérium stejný význam, zapíše se do Saatyho matice hodnota $s_{ij} = 1$. Pokud i -té kritérium je slabě preferováno před j -tým kritériem, bude hodnota s_{ij} rovna 3, při silné preferenci i -tého kritéria oproti j -tému se zapíše $s_{ij} = 5$, atd. dle výše uvedené tabulky. Pakliže je preferováno j -té kritérium před i -tým, bude hodnota s_{ij} hodnotou převrácenou, tedy $s_{ij} = 1/3$, $s_{ij} = 1/5$, atd.

Saatyho matice je čtvercová matice typu $m \times n$, proto platí, že $s_{ij} = 1/s_{ij}$. Diagonála této matice obsahuje vždy pouze hodnoty 1, protože každé kritérium je samo sobě rovnocenné.

Dle Šubrta (2011) existuje několik způsobů, jak je možné stanovit váhy v_j kritérií. Nejpoužívanějším způsobem je výpočet s pomocí normalizovaného geometrického průměru řádků Saatyho matice, jsou tak získány hodnoty b_i .

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n s_{ij}} \quad (1.4)$$

Váhy se pak vypočítají normalizací hodnot b_i dle vzorce:

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (1.5)$$

Většinou se nestává, že by prvky Saatyho matice byly dokonale konzistentní, tedy že neplatí vztah $s_{hj} = s_{hi} \times s_{ij}$ pro všechna $h, i, j = 1, 2, \dots, n$. Míru konzistence je možno měřit s pomocí poměru konzistence CR . K jeho stanovení je zapotřebí nejprve vypočítat index konzistence CI , dle vzorce 1.6, kde l_{max} je největší vlastní číslo Saatyho matice a n počet kritérií.

$$CI = \frac{l_{max} - n}{n - 1} \quad (1.6)$$

Získanou hodnotu CI , je třeba v dalším kroku upravit. Výsledná hodnota poměru konzistence se vypočte dle vzorce:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1.7)$$

Hodnoty náhodného indexu RI stanovil Saaty (2008) pro rozhodování o různém počtu kritérií a jsou obsaženy v následujících tabulkách (Tabulka 5, Tabulka 6).

Tabulka 5: Hodnoty náhodného indexu RI (1. část)

počet kritérií	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 6: Hodnoty náhodného indexu RI (2. část)

počet kritérií	9	10	11	12	13	14	15
RI	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Zdroj: vlastní zpracování

Saatyho matice je tedy konzistentní, pokud hodnota $CR < 0,1$. Konzistencí se ve své práci zabývá Hlavatý (2014).

3.4 Metody výběru kompromisních variant

Jak uvádí Jablonský (2002) úlohy vícekritériálního rozhodování variant je možno řešit různými způsoby. K tomu jsou využívány metody, které jsou založeny na různých principech, vždy záleží na typu úlohy.

Rozlišují se metody, které:

- nevyžadují informaci o preferencích kritérií,
- vyžadují aspirační úrovně kritérií,
- vyžadují ordinální informaci,
- vyžadují kardinální informaci.

Jestliže jsou známy pouze preference variant dle jednotlivých kritérií, ale preference kritérií nám známy nejsou, je nutno pro řešení daného modelu použít metodu, která nevyžaduje informaci o preferenci kritérií. Takovou je dle Šubrta (2011) metoda pořadí nebo metoda bodovací.

Další skupinou jsou metody, které pracují na základě aspiračních úrovní, tedy vycházejí z nominální informace o preferencích kritérií. Tyto metody zpravidla dělí varianty na dvě skupiny, a to varianty s horšími kriteriálními hodnotami, než kterých chceme dosáhnout, a varianty s lepšími hodnotami. Tuto skupinu zastupuje například metoda bazické varianty.

Metody, jež vycházejí z ordinální informace, mají za požadavek zadané pořadí kritérií, či variant, které stanoví jejich významnost. Nejpoužívanější metodou této kategorie je lexikografická metoda.

Existují i metody vyžadující kardinální informaci o kritériích, a to jako jejich váhy, informace o variantách má být vyjádřena kriteriální maticí, jež obsahuje kardinální hodnoty. Jak uvádí Šubrt (2011), je těchto metod větší množství a člení se do tří skupin na metody dle:

- maximalizace užitku,
- minimalizace vzdálenosti od ideální varianty,
- preferenční relace.

3.4.1 Metody založené na maximalizaci užitku

Maximalizace užitku vychází z předpokladu, že užitek je možné vyčíslit. Tedy pro každou variantu je zjištěna hodnota z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Ta podá informaci o tom, jaký užitek daná varianta přinese při její realizaci. Pro stanovení celkového užitku, jenž varianta realizací přinese, je třeba znát i dílčí funkce užitku kritérií. Funkce užitku mohou být tři: lineární funkce,

progresivní funkce a degresivní funkce. Jako zástupce této skupiny je uvedena metoda váženého součtu.

3.4.1.1 Metoda váženého součtu

Předpokladem metody váženého součtu, jak píše Jablonský (2002), je lineární funkce užitku u na stupnici od 0 do 1. Přičemž nejhorší varianta bude mít při své realizaci užitek 0, zatímco varianta nejlepší užitek 1. Ostatní varianty dosáhnou hodnot mezi těmito dvěma krajními hodnotami. Z tohoto důvodu je třeba nahradit prvky y_{ij} kritériální matice hodnotami r_{ij} představujícími užitek varianty a_i ohodnocené dle kritéria f_j . Hodnoty r_{ij} jsou prvky standardizované kritériální matice R a získány jsou dle vzorce:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad (1.8)$$

V tomto vzorci je D_j nejhorší (při maximalizaci tedy nejnižší) hodnota dosažená u všech variant za daného kritéria a hodnota H_j naopak nejlepší.

Celkový užitek varianty A_i je získán váženým součtem dílčích užiteků dle jednotlivých kritérií:

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j y'_{ij}, \quad (1.9)$$

kde v_j jsou váhy jednotlivých kritérií.

Následně se varianty seřadí dle klesajícího užitku a varianta s nejvyšší hodnotou užitku je variantou nejlepší tedy doporučenou k realizaci.

3.4.2 Metody založené na minimalizaci vzdálenosti od ideální varianty

3.4.2.1 Metoda TOPSIS

Autoři Jablonský (2002) i Šubrt (2011) se shodují, že základem metody TOPSIS je posuzování variant dle jejich vzdálenosti od ideální a bazální varianty. Respektive jde o nalezení takové varianty, která je nejbližší i variantě ideální, tj. varianty s vektorem nejlepších

kritériálních hodnot, a zároveň nejdále od varianty bazální, tedy takové, která má kritériální hodnoty nejhorší. Pro použití této metody je třeba znát váhy kritérií a kardinální ohodnocení variant dle těchto kritérií.

Při metodě TOPSIS se postupuje dle následujících několika kroků:

1. Kritériální hodnoty y_{ij} s využitím následujícího vzorce, kde $i = 1, 2, \dots, n$ a $j = 1, 2, \dots, m$, jsou přetransformovány na hodnoty r_{ij} a tak je vytvořena normalizovaná kritériální matice $R = (r_{ij})$.

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{ij}^2}} \quad (1.10)$$

2. V dalším kroku je vypočítána normalizovaná vážená kritériální matice $W = (w_{ij})$, a to podle následujícího vztahu, kde v_j je váha j -tého kritéria.

$$w_{ij} = v_j r_{ij} \quad (1.11)$$

Následně se z prvků matice W určí ideální varianta H , kde $H_j = \max_i(w_{ij})$ a bazální varianta D , kde $D_j = \min_i(w_{ij})$.

3. Třetím krokem je výpočet vzdáleností jednotlivých variant od ideální varianty dle vzorce:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - h_j)^2} \quad (1.12)$$

i od bazální varianty:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - d_j)^2} \quad (1.13)$$

4. V posledním kroku jsou vypočteny relativní ukazatele c_i , díky nimž budou známy vzdálenosti variant od bazální varianty. K výpočtu se užívá následující vztah.

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (1.14)$$

Hodnoty c_i leží v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Pro bazální variantu tedy nabývají hodnoty 0 a pro variantu ideální hodnoty 1. Na závěr jsou varianty uspořádány dle klesajícího ukazatele c_i a za řešení problému se pokládá dané množství variant s nejlepším výsledkem.

4 Vlastní práce

V následující části se bakalářská práce bude zabývat již samotným řešením rozhodovacího procesu, jehož hlavním cílem je výběr vhodného dodavatele sklářské tavicí pece pro společnost Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o.

4.1 Představení společnosti Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o.

Sklárna společnosti Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o., dále jen Ajeto, leží v malé severočeské vesničce, zvané Lindava, asi deset kilometrů východně od Nového Boru, který je pokládán za jedno z nejvýznamnějších center světové sklářské výroby. Sklárna byla vybudována v letech 1992–1994 na základech bývalé německé soukromé manufaktury pro stříhání a barvení sametu. Jedná se o sklárnu s ruční výrobou skla, která se orientuje na výrobu designového uměleckého skla.

4.2 Sklářská tavicí pec

Základním technickým vybavením sklárny je tavicí agregát neboli sklářská pec, v níž dochází k tavení sklářského kmene. Sklářským kmenem je nazývána sypká směs, která je s velkým důrazem kladeným na přesnost připravena ze sklářského písku, sody, potaše a vápence. K základním surovinám sklářského kmene se dále přimíchávají také barvicí složky a dále pak i urychlovače tavení, čeridla a další nezbytné složky pro výrobu skla.

Korpus sklářské pece je postaven z klasického šamotového zdiva, tedy z žáruvzdorného materiálu, který se také používá například na stavbu krbů či kamen. Na klenbu pece, jež je nejvíce tepelně namáhána, jsou použity speciální materiály jako jsou corhard, dinas a další, které jsou schopné odolávat teplotám až 2 000 °C.

4.3 Vznik potřeby nové tavicí pece

Životnost tavicích agregátů ve sklárnách se obvykle pohybuje v rozmezí pěti až šesti let (jedná se o minimální životnost garantovanou dodavatelem), což je ovlivněno především vysokými teplotami, při nichž je sklo vyráběno. Teplota uvnitř pece během díla, na tzv. pracovní teplotě, dosahuje hodnoty 1 220 °C. V noci, kdy dochází k tavení nové skloviny na druhý den, vyšplhá teplota až na 1 420 °C, na tzv. tavicí teplotu.

Tavící pec ve sklárně Ajeto byla využívána již 11 let. Z výše uvedeného vyplývá, že tato pec dosáhla téměř dvojnásobku své životnosti a je tedy nutné stávající pec zbourat a následně postavit novou sklářskou pec pro ruční výrobu. Proto se společnost Ajeto rozhodla pro výstavbu nové pece.

4.4 Požadavky na sklářskou pec

Jak již bylo výše uvedeno, společnost Ajeto se specializuje na ruční výrobu uměleckého skla. Z toho vyplývají specifické požadavky sklárny na tavící agregát, které dodavatel pece musí splnit. Na základě těchto požadavků si firma následně stanoví kritéria pro rozhodování o výběru vhodného dodavatele sklářské pece. V následujících odstavcích budou vyjmenovány a objasněny jednotlivé požadavky. Primárním cílem je nalezení takového dodavatele sklářské pece, který splní níže uvedené požadavky a zároveň zaručí i samotnou výstavbu pece.

Na stavbu pece budou použity 3 vrstvy žáruvzdorných lavicových desek jako základ, nad nimiž bude zhotovena podlaha samotné pece z vysoce odolného žáruvzdorného materiálu Karkor. Dále následuje vlastní vrchní stavba pece a nad ní samonosná dinasová klenba. Oporu pece tvoří kovová konstrukce. Součástí pece může být zdvihací zařízení, jež napomáhá otevírání pece při vkládání pánví.

Vnější izolace bude zajištěna pomocí měkkých izolačních žáruvzdorných cihel. Součástí pece musí být také skelná jímka, kterou odtéká odpadní roztavené sklo ze dna pece do spodní části stavby pece.

Otápěná plocha pece by měla dosahovat 9 m², aby byl zajištěn dostatečný prostor pro 4 pánve, které budou do pece umístěny. Pánvemi jsou míněny nádoby vyrobené z žáruvzdorného materiálu, v nichž se nachází roztavená skelná hmota. Otop pece je zajišťován hořáky umístěnými 10-15 cm nad horním okrajem pánve.

Společnost Ajeto dále požaduje dobu výstavby pece, jež nepřesáhne 14 dní, zaručenou životnost pece minimálně na 5 let a cenový limit si firma stanovila maximálně na hodnotu 3 000 000 Kč bez DPH.

Po sestavení všech požadavků společnost Ajeto oslovila níže uvedené dodavatele sklářských pecí, aby vytvořili návrh vypracování zadaného projektu. Jedná se o firmy:

- Teplotechna-Prima, s. r. o.,
- Teplotechna Ostrava a. s.,
- Teplotechna Průmyslové pece, s. r. o.,
- PKI – Teplotechna Brno s. r. o.,
- Desko a. s.,
- P-D Refractories CZ a. s.,
- Průmyslová keramika, spol. s. r. o.,
- Kerval, a. s. Karlštejn.

4.5 Nabídky vypracování projektu

V předchozí kapitole byly objasněny požadavky společnosti Ajeto, dle nichž měli oslovení dodavatelé vypracovat nabídku zpracování zadaného projektu sklárnou Ajeto. Níže budou uvedeny jednotlivé nabídky, které sklárna od dodavatelů obdržela, a také označení dodavatelů ($a_1 - a_8$), pod nimiž budou dále uvedeny v tabulkách.

4.5.1 Teplotechna-Prima, s. r. o. (a_1)

Nabídku společnosti Teplotechna-Prima, s. r. o. společnost Ajeto ohodnotila jako velmi solidní v rámci zadaných parametrů. Tato firma poskytuje kompletní dodávku s garantovanou životností pece na 6 let a záruční dobou na stavební prvky 36 měsíců. Stavba pece bude trvat 12 dní a cena bez DPH činí 2 570 000 Kč.

4.5.2 Teplotechna Ostrava a. s. (a_2)

Stejně tak jako předchozí nabídku hodnotí společnost Ajeto i návrh firmy Teplotechna Ostrava a. s. jako velmi seriózní. Společnost garantuje životnost pece na 6 let a záruku na stavební prvky po dobu 36 měsíců, taktéž kompletní dodání. Výstavba pece potrvá 13 dní a požadovaná cena je 2 680 000 Kč bez DPH. Nevýhodnou této nabídky je ovšem značná vzdálenost od mateřského podniku, což s sebou přináší také potřebu ubytování pro dělníky, kteří budou pec stavět. Firma dále také požaduje zajištění 1 kusu diamantové pily.

4.5.3 Teplotechna Průmyslové pece, s. r. o. (a_3)

Návrh společnosti Teplotechna Průmyslové pece, s. r. o. je srovnatelný s návrhem Teplotechny Ostrava a. s. Firma nabízí kompletní dodávku s životností pece 6 let a zárukou

trvající 42 měsíců. Výstavba pece touto firmou bude probíhat 13 dní a cena je stanovena na 2 650 000 Kč bez DPH. Obdobně jako u předchozí nabídky je i zde nevýhodou značná vzdálenost od sídla podniku, které se nachází v Olomouci. Z tohoto důvodu je také požadováno ubytování pro stavitele a dále poskytnutí vysokozdvížného vozíku po celou dobu výstavby.

4.5.4 PKI – Teplotechna Brno s. r. o. (a_4)

Obdobná nabídka jako dvě předchozí je nabídka společnosti PKI – Teplotechna Brno s. r. o. Jedná se o kompletní dodávku s šestiletou životností pece a záruční dobou na 36 měsíců. Stavba potrvá 13 dní a cena činí 2 770 000 Kč bez DPH. Opět je nevýhodou velká vzdálenost sídelního města společnosti, a tedy i potřeba zajištění ubytování. Dále společnost požaduje po celou dobu výstavby pece vysokozdvížný vozík.

4.5.5 Desko a. s. (a_5)

Velmi zajímavě působí nabídka podniku Desko a. s. z Desné. Návrh se týká kompletní dodávky s garancí životnosti na 5 let a zárukou na stavební prvky po dobu 42 měsíců. Pec má být touto firmou postavena za 13 dní za cenu 2 480 000 Kč bez DPH.

4.5.6 P-D Refractories CZ a. s. (a_6)

Společnost P-D Refractories CZ a. s. předložila sklárně Ajeto nabídku pouze na dodání kompletního žáromateriálu. Cenu si společnost stanovila na 2 050 000 bez DPH.

4.5.7 Průmyslová keramika, spol. s. r. o. (a_7)

Téměř stejný návrh sklárna Ajeto získala od firmy Průmyslová keramika, spol. s. r. o. Taktéž se jedná pouze o kompletní dodávku žáromateriálu v ceně 1 980 000 Kč bez DPH.

4.5.8 Kerval, a. s. Karlštejn (a_8)

Poslední nabídku obdržela společnost Ajeto od firmy Kerval, a. s. Karlštejn za cenu 1 070 000 Kč. Tato nabídka ovšem zahrnuje dodání žáromateriálu pouze pro spodní stavbu pece. Potřebný žáromateriál na výstavbu horní stavby pece spolu se stavitelskými pracemi by musel být nasmlouván dodavatelsky.

Výhodu při rozhodování o volbě dodavatele shledává společnost Ajeto také v zajištění odpadního materiálu ze staré pece, tedy v jeho odvozu a likvidaci dodavatelskou společností.

Tuto službu poskytují pouze dva z oslovených dodavatelů, a sice společnost Teplotechna-Prima, s. r. o. a společnost Desko a. s. V případě ostatních dodavatelů by sklárna musela odvoz a likvidaci materiálu zajistit jiným způsobem.

4.6 Kritéria výběru

V předchozí kapitole byly uvedeny návrhy na vypracování projektu výstavby tavicího agregátu, které různým způsobem splňují požadavky, jaké byly sklárnou Ajeto stanoveny. Na základě výše uvedených nabídek jednotlivých dodavatelských firem byla společností Ajeto sestavena kritéria rozhodování. S využitím těchto kritérií bude následně proveden výpočet, dle něhož bude sklárně doporučena nejvýhodnější nabídka.

Konkrétně se jedná o tato kritéria:

- cena (f_1),
- životnost (f_2),
- stavba (f_3),
- záruka (f_4),
- otápěná plocha (f_5),
- počet izolačních vrstev (f_6),
- dodávka měření a regulace (f_7),
- hořákové tvarovky (f_8),
- kovopráce (f_9),
- zdvihací zařízení (f_{10}),
- požadavek na ubytování (f_{11}),
- požadavek na vysokozdvižný vozík (f_{12}),
- požadavek na diamantovou pilu (f_{13}),
- odvoz materiálu zbourané pece (f_{14}).

Kritérium Stavba je specifické tím, že hodnoty, kterých budou jednotlivé varianty v rámci tohoto kritéria dosahovat, se mohou pohybovat pouze v intervalu $\langle 7; 14 \rangle$. Dolní hranice vychází z požadavku sklárny. Ten jasně stanovuje, že dodavatel má zaručit i samotnou výstavbu

pece, proto není u tohoto kritéria přípustná hodnota 0. Sklárna dále požaduje, aby výstavba probíhala minimálně po dobu 7 dnů, čímž má být zajištěna kvalita stavby. Horní hranice je pak stanovena maximálním možným počtem dní výstavby.

Zmíněná podmínka stanovuje aspirační úroveň u kritéria Stavba, hodnotu, již má být alespoň (respektive maximálně) dosaženo, aby daná varianta mohla být zařazena do rozhodovacího procesu. Z tohoto důvodu je nutné, aby varianta a_8 , Kerval, a. s. Karlštejn, nebyla do procesu rozhodování zařazena, jelikož jako jediná nezajišťuje požadavek na výstavbu pece.

Bližší vysvětlení daných kritérií již bylo uvedeno v kapitole 4.4 Požadavky na sklářskou pec respektive v kapitole 4.5 Nabídky vypracování projektu.

4.7 Kriteriaální matice

Aby bylo dosaženo co největší přehlednosti při rozhodovacím procesu, je vhodné uspořádat získaná data do tabulky. V případě rozhodovacích procesů se využívá kriteriaální matice.

Kriteriaální matice obsahuje výčet možných variant řešení, kterými jsou v případě tohoto rozhodovacího procesu oslovené společnosti sklárnou Ajeto na vypracování návrhu výstavby sklářské pece (v tabulce uvedeny pod označením $a_1 - a_7$). Dále kriteriaální matici doplňují kritéria rozhodování. Seznam všech možných alternativ i výčet všech rozhodovacích kritérií byly již uvedeny v předchozích kapitolách, konkrétně se jedná o kapitolu 4.4 Požadavky na sklářskou pec a o kapitolu 4.6 Kritéria výběru.

Možné varianty řešení a jejich ohodnocení dle kritérií jsou uspořádány v následujících dvou tabulkách (Tabulka 7, Tabulka 88).

Tabulka 7: Kriteriaální matice (1. část)

	Cena (Kč)	Životnost (let)	Stavba (dny)	Záruka (let)	Otápěná plocha (m ²)	Počet izolačních vrstev	Dodávka měření a regulace
a₁	2570000	6	12	36	9,38	1x plná cihla, 2x lehčená	ne
a₂	2680000	6	13	36	8,79	2x plná cihla, 1x lehčená	ano
a₃	2650000	6	13	42	9,69	2x plná cihla, 1x lehčená	ano
a₄	2770000	6	13	36	8,87	2x plná cihla, 1x lehčená	ano
a₅	2480000	5	13	42	8,66	1x plná cihla, 2x lehčená	ne
a₆	2050000	6	13	42	8,85	1x plná cihla, 2x lehčená	ne
a₇	1980000	5	13	36	8,62	1x plná cihla, 2x lehčená	ne

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 8: Kriteriaální matice (2. část)

	Hořákové tvarovky (kusů)	Kovopráce	Zdvihací zařízení	Požadavek na ubytování (lidí)	Požadavek na vysokozdvihový vozík	Požadavek na diamantovou pilu	Odvoz materiálu zbourané pece
a₁	2	ano	ano, včetně lana	6	ne	ne	ano
a₂	2	ano	ano, včetně lana	10	ne	ano	ne
a₃	2	ano	ano, včetně lana	10	ano, včetně řidiče	ne	ne
a₄	2 + 1 náhradní	ano	ano, včetně lana a motoru	12	ano	ne	ne
a₅	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano
a₆	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
a₇	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne

Zdroj: vlastní zpracování

4.8 Test dominance

Ještě před započítím výpočtu vedoucího k výběru vhodného dodavatele tavící pece je vhodné zvážit možnost, že již v tuto chvíli je možno stanovit variantu, která je ze všech variant nejhorší. Pro tuto úvahu se používá test dominance, který je založen na vztahu dominance, jehož podmínky byly stanoveny v kapitole 3.2.1 Model vícekritériálního rozhodování.

Na základě testu dominance byly prověřeni i možní dodavatelé tavící pece a tento test prokázal, že ani jedna z variant není variantou dominovanou. Z toho vyplývá, že žádná varianta nebude vyloučena z rozhodovacího procesu.

4.9 Rozhodování o výběru dodavatele

Dodavatel sklářské pece, jehož návrh realizace projektu je pro společnost Ajeto nejvýhodnější, bude zvolen dle výpočtu, který bude proveden metodou TOPSIS, metodou, jež nám nabídne optimální řešení problému na základě minimalizace vzdálenosti od ideální varianty.

Aby bylo možné použít k výpočtu metodou TOPSIS, je zapotřebí kvantitativní ohodnocení možných variant řešení dle jednotlivých kritérií. Z tohoto důvodu je třeba převést slovní ohodnocení na číselné hodnoty. Proto byl osloven zadavatel projektu, aby přiřadil body variantám dle jejich výsledků dosažených u jednotlivých kritérií (v tabulce uvedeny pod označením $f_1 - f_{14}$). V závislosti na významnosti kritérií také zadavatel zvolil různé bodové stupnice pro jednotlivá kritéria. Kvantitativní ohodnocení variant je uvedeno níže v tabulkách (Tabulka 99, Tabulka 1010).

Tabulka 9: Kriteriaální matice – kvantitativní ohodnocení (1. část)

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
a_1	2570000	6	88	36	9,38	2	1
a_2	2680000	6	87	36	8,79	2,5	5
a_3	2650000	6	87	42	9,69	2,5	5
a_4	2770000	6	87	36	8,87	2,5	5
a_5	2480000	5	87	42	8,66	2	1
a_6	2050000	6	87	42	8,85	2	1
a_7	1980000	5	87	36	8,62	2	1
povaha	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 10: Kriteriaální matice – kvantitativní ohodnocení (2. část)

	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}
a_1	2	5	3	6	10	7	10
a_2	2	5	3	3	10	1	1
a_3	2	5	3	3	1	7	1
a_4	2,5	5	5	1	3	7	1
a_5	0	1	1	10	10	7	10
a_6	0	1	1	10	10	7	1
a_7	0	1	1	10	10	7	1
povaha	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX

Zdroj: vlastní zpracování

4.9.1 Výpočet vah kritérií

Dále metoda TOPSIS vyžaduje stanovení vah kritérií. V našem případě bude tento výpočet proveden s využitím Saatyho metody, jež odvozuje váhy kritérií jako normalizovaný geometrický průměr.

Z tohoto důvodu bylo zapotřebí, aby zadavatel učinil párové porovnání jednotlivých kritérií. Toto párové porovnání bylo zaznamenáno do níže uvedené matice (Tabulka 1111).

Z vlastností Saatyho matice vyplývá, že zadavatel porovnal vždy dvě kritéria oproti sobě a u preferovaného kritéria zapsal hodnotu na stupnici od 1 do 9, v opačném případě hodnotu převrácenou. Proto jsou v tabulce uvedeny zaokrouhlené hodnoty.

Tabulka 11: Saatyho matice

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}
f_1	1,00	0,20	3,00	0,33	1,00	1,00	0,33	1,00	5,00	5,00	9,00	3,00	5,00	9,00
f_2	5,00	1,00	9,00	1,00	7,00	1,00	7,00	5,00	7,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
f_3	0,33	0,11	1,00	0,14	0,20	0,20	0,33	0,20	1,00	1,00	7,00	3,00	3,00	3,00
f_4	3,00	1,00	7,00	1,00	7,00	3,00	5,00	5,00	7,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
f_5	1,00	0,14	5,00	0,14	1,00	0,33	0,33	3,00	5,00	7,00	9,00	9,00	9,00	9,00
f_6	1,00	1,00	5,00	0,33	3,00	1,00	5,00	3,00	5,00	5,00	9,00	9,00	9,00	9,00
f_7	3,00	0,14	3,00	0,20	3,00	0,20	1,00	5,00	5,00	7,00	9,00	9,00	9,00	9,00
f_8	1,00	0,20	5,00	0,20	0,33	0,33	0,20	1,00	0,33	1,00	7,00	7,00	9,00	9,00
f_9	0,20	0,14	1,00	0,14	0,20	0,20	0,20	3,00	1,00	3,00	7,00	7,00	9,00	9,00
f_{10}	0,20	0,11	1,00	0,11	0,14	0,20	0,14	1,00	0,33	1,00	5,00	7,00	7,00	7,00
f_{11}	0,11	0,11	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,14	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00
f_{12}	0,33	0,11	0,33	0,11	0,11	0,11	0,11	0,14	0,14	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00
f_{13}	0,20	0,11	0,33	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00
f_{14}	0,11	0,11	0,33	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00

Zdroj: vlastní zpracování

Pokud je ke stanovení vah využívána Saatyho metoda, je vhodné otestovat, zda je vyplněná matice konzistentní. Pro toto ověření byl vypočten poměr konzistence CR , který je roven hodnotě 0,124. Z toho tedy vyplývá, že je matice mírně nekonzistentní, což ale nebude mít zásadní vliv na výsledek rozhodovacího procesu. Odchylka při stanovování hodnot expertem při párovém porovnání kritérií byla pravděpodobně způsobena velkým počtem kritérií.

V následujícím kroku Saatyho metody budou vypočteny geometrické průměry řádků Saatyho matice. Jejich následnou normalizací a zaokrouhlením pak budou získány nové váhy kritérií, které zachycuje následující tabulka (Tabulka 122).

Tabulka 12: Váhy kritérií

	geometrický průměr	váha
f_1	1,7226	0,07
f_2	4,8967	0,21
f_3	0,6548	0,03
f_4	4,8967	0,21
f_5	1,8969	0,08
f_6	3,2094	0,14
f_7	2,3707	0,10
f_8	1,1349	0,05
f_9	1,0111	0,04
f_{10}	0,6919	0,03
f_{11}	0,2291	0,01
f_{12}	0,2570	0,01
f_{13}	0,2391	0,01
f_{14}	0,2292	0,01

Zdroj: vlastní zpracování

4.9.2 Výpočet metodou TOPSIS

V předchozí kapitole byly díky Saatyho metodě stanoveny váhy kritérií rozhodování. S těmito vahami bude následně proveden výpočet metodou TOPSIS, jenž naznačí optimální výsledek rozhodovacího procesu, a sice vhodného dodavatele sklářské pece.

První krok výpočtu prováděného metodou TOPSIS spočívá v normalizaci hodnot v kritériální matici, jež byla uvedena již výše, dle vzorce pro normalizaci (Vzorec 1.10).

Tím bude vytvořena normalizovaná kritériální matice, která bude v následujícím kroku vynásobena vahami příslušných kritérií dle vzorce (Vzorec 1.11), výsledek je uveden v tabulce (Tabulka 133).

Tabulka 13: Normalizovaná vážená kritériální matice

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}
a_1	0,028	0,083	0,011	0,074	0,032	0,047	0,011	0,023	0,020	0,012	0,003	0,004	0,004	0,007
a_2	0,029	0,083	0,011	0,074	0,030	0,059	0,056	0,023	0,020	0,012	0,002	0,004	0,001	0,001
a_3	0,028	0,083	0,011	0,086	0,033	0,059	0,056	0,023	0,020	0,012	0,002	0,000	0,004	0,001
a_4	0,030	0,083	0,011	0,074	0,030	0,059	0,056	0,029	0,020	0,020	0,001	0,001	0,004	0,001
a_5	0,027	0,069	0,011	0,086	0,029	0,047	0,011	0,000	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,007
a_6	0,022	0,083	0,011	0,086	0,030	0,047	0,011	0,000	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,001
a_7	0,021	0,069	0,011	0,074	0,029	0,047	0,011	0,000	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,001
v_j	0,3	0,15	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02
	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX

Zdroj: vlastní zpracování

V následujících krocích číslo tři a čtyři nás čeká výpočet vzdáleností všech variant od varianty ideální (h) a také varianty bazální (d). Proto je třeba si tyto varianty stanovit.

$$h=(0,021; 0,083; 0,011; 0,086; 0,033; 0,059; 0,056; 0,029; 0,020; 0,020; 0,005; 0,004; 0,004; 0,007)$$

$$d=(0,030; 0,069; 0,011; 0,074; 0,029; 0,047; 0,011; 0,000; 0,004; 0,004; 0,001; 0,000; 0,001; 0,001)$$

S využitím vzorců 1.12 a 1.13 pro výpočet vzdálenosti od ideální a bazální varianty uvedených v kapitole 3.4.2.1 Metoda TOPSIS bude následně vypočtena hodnota d_i^+ , vzdálenost od ideální varianty, a hodnota d_i^- , vzdálenost od bazální varianty, které budou zaznamenány do tabulky (Tabulka 14).

Tabulka 14: Vzdálenosti od ideální a bazální varianty

	d_i^+	d_i^-
a_1	0,049629	0,033767
a_2	0,019567	0,056906
a_3	0,01487	0,058305
a_4	0,017418	0,061142
a_5	0,061368	0,015862
a_6	0,059847	0,021312
a_7	0,062685	0,011065

Zdroj: vlastní zpracování

Získané hodnoty nám pomohou v posledním (pátém) kroku vypočítat relativní ukazatele c_i , díky nimž budeme znát vzdálenost všech variant od bazální varianty. Výsledkem výpočtu je varianta s největší vzdáleností od bazální varianty.

Tabulka 15: Výsledné pořadí variant 1

	c_i	výsledné pořadí
a_1	0,4049	4
a_2	0,744131	3
a_3	0,796787	1
a_4	0,77828	2
a_5	0,205391	6
a_6	0,262594	5
a_7	0,15003	7

Zdroj: vlastní zpracování

Z výše uvedené tabulky (Tabulka 15), Výsledné pořadí variant, můžeme na základě hodnoty koeficientu c_i odvodit, že nejvzdálenější variantou od varianty bazální je varianta a_3 , tedy dodavatelská společnost Teplotechna Průmyslové pece, s. r. o. Nabídka této společnosti je

tak pro sklárnu Ajeto vhodnou kompromisní variantou po uvážení všech kritérií, a proto bude sklárně doporučena k realizaci.

Další možností je varianta a_4 , společnost PKI – Teplotechna Brno s. r. o., která se umístila jako druhá v pořadí. Jejich vzdálenosti od bazální varianty se výrazně neliší.

Pro přehlednost je uvedena následující tabulka (Tabulka 16).

Tabulka 16: Výsledné pořadí variant 2

výsledné pořadí	dodavatelská společnost
1	Teplotechna Průmyslové pece s. r. o.
2	PKI – Teplotechna Brno s. r. o.
3	Teplotechna Ostrava a. s.
4	Teplotechna-Prima, s. r. o.
5	P-D Refractories CZ a. s.
6	Desko a. s.
7	Průmyslová keramika, spol. s r.o.

Zdroj: vlastní zpracování

Jako úplně poslední se umístila varianta a_8 , Kerval, a. s. Karlštejn. Nabídka této společnosti nesplňovala dostatečně požadavky stanovené sklárnou Ajeto, a proto byla z výpočtu vyřazena. Z tohoto důvodu také není zařazena do výsledného pořadí.

Ještě dříve, než byly vypočteny váhy kritérií Saatyho metodou, stanovil zadavatel váhy sám dle svého uvážení. Vyjma kritéria cena se tyto stanovené váhy příliš nelišily od vah vypočtených. Pro porovnání je uvedena následující tabulka (Tabulka 177).

Tabulka 17: Porovnání vah kritérií

	stanovené váhy	vypočtené váhy
f_1	0,3	0,07
f_2	0,15	0,21
f_3	0,05	0,03
f_4	0,1	0,21
f_5	0,1	0,08
f_6	0,05	0,14
f_7	0,05	0,10
f_8	0,04	0,05
f_9	0,05	0,04
f_{10}	0,03	0,03
f_{11}	0,03	0,01
f_{12}	0,02	0,01
f_{13}	0,01	0,01
f_{14}	0,02	0,01

Zdroj: vlastní zpracování

4.10 Analýza citlivosti na změnu vah kritérií

Na závěr výpočtu byla ještě provedena analýza citlivosti na změnu vah kritérií. Při tomto testu je pozornost zaměřena konkrétně na kritérium Cena, jelikož právě na cenu může být v různých případech kladen různý důraz. Pokud se firmě dlouhodobě daří dobře hospodařit s penězi, neklade přílišný důraz na cenu, a tak ani váha tohoto kritéria není příliš vysoká. V opačném případě, kdy se firma potýká s nedostatkem peněz, je cena kritériem velmi důležitým a tomu také odpovídá jeho váha.

V následujícím odstavci bude demonstrováno, jakým způsobem ovlivňuje váha kritéria Cena výsledné pořadí variant. Pro ilustraci vlivu tohoto kritéria bude provedena jeho postupná diskrétní změna. Budeme uvažovat za jinak nezměněných podmínek růst hodnoty váhy kritéria Cena vždy o hodnotu 0,1, až do hodnoty 0,9 (hodnota 1 by znamenala, že ostatní kritéria už nejsou brána v potaz). Původní originální váha kritéria cena je 0,07. Pro potřeby citlivostní analýzy nyní uvažme iniciální změnu váhy na hodnotu 0,1 a označme ji $v_{k1} = 0,1$. Iniciální

váhový vektor označme $v_1^T = (v_{1,1}, v_{1,2}, \dots, v_{1,14})$. Potom nový váhový vektor $v_2^T = (v_{2,1}, v_{2,2}, \dots, v_{2,14})$ získáme dle následujícího vztahu:

$$v_{2,1} = v_{1,1} + 0,1$$

$$v_{2,k} = v_{1,k} - 0,1 \left(\frac{v_{1,k}}{\sum_{k=2}^{14} v_{1,k}} \right), k = 2, \dots, 14 \quad (2.1)$$

a postup opakujeme pro všechna $v_l^T, l = 2, \dots, 9$. Tím bude zaručeno, že váhové poměry mezi ostatními kritérii zůstanou zachovány. Po vypočtení nových vah uvedeným způsobem byl vždy proveden nový výpočet metodou TOPSIS a získané hodnoty byly zaznamenány do níže uvedené tabulky (Tabulka 18).

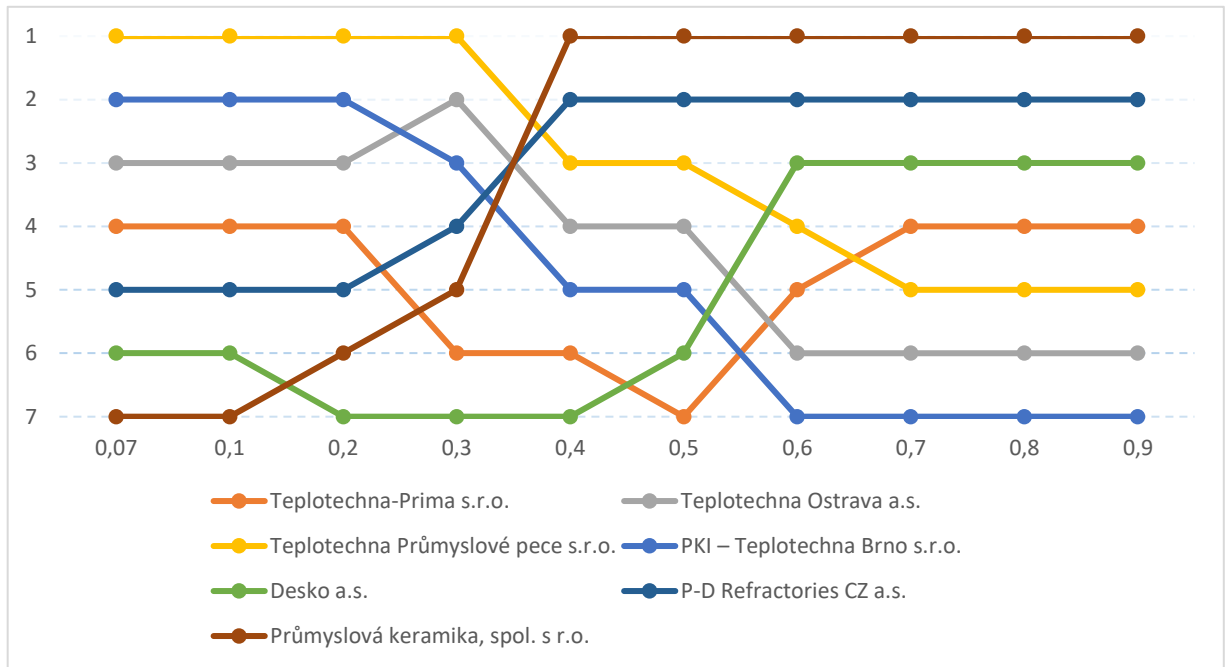
Tabulka 18: Výsledné pořadí variant při změněné váze kritéria cena

váha	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	pořadí variant									
Teplotechna-Prima s. r. o.	4	4	4	6	6	7	5	4	4	4
Teplotechna Ostrava a. s.	3	3	3	2	4	4	6	6	6	6
Teplotechna Průmyslové pece s. r. o.	1	1	1	1	3	3	4	5	5	5
PKI – Teplotechna Brno s. r. o.	2	2	2	3	5	5	7	7	7	7
Desko a. s.	6	6	7	7	7	6	3	3	3	3
P-D Refractories CZ a. s.	5	5	5	4	2	2	2	2	2	2
Průmyslová keramika, spol. s r.o.	7	7	6	5	1	1	1	1	1	1

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky 18 vyplývá následující graf (Graf 1), který přehledněji zachycuje vývoj pořadí variant závisející na váze kritéria Cena.

Graf 1: Citlivost na změnu váhy kritéria cena



Zdroj: vlastní zpracování

Z uvedeného grafu lze vypočítat, že pořadí variant se s narůstající vahou kritéria Cena nebude výrazně lišit, dokud nedosáhne hodnoty 0,2. Za touto hranicí již nastávají jisté změny, ovšem nejvýraznější změna v pořadí variant se odehrává mezi hodnotami 0,3 a 0,4. Po dosažení váhy 0,7 se již pořadí variant nemění.

5 Zhodnocení

V kapitole 4.9.2 Výpočet metodou TOPSIS bylo stanoveno výsledné pořadí dodavatelů sklářské pece, dle něhož byla zvolena kompromisní varianta řešení, tedy varianta nejvýhodnější při uvážení všech daných kritérií rozhodování. Výsledný seznam byl také předložen společnosti Ajeto jako doporučení k realizaci projektu. Právě vítězná varianta, společnost Teplotechna Průmyslové pece s. r. o., byla doporučena jako nejvhodnější dodavatelská firma pro sklárnu Ajeto.

Vedení sklárny Ajeto doporučení dle výsledku rozhodovacího procesu přijalo k uvážení. Později však bylo rozhodnuto, že dodavatelem nového tavicího agregátu se stane společnost Teplotechna-Prima, s. r. o. Tato společnost se sice umístila až jako čtvrtá v pořadí, ale její nabídka na vypracování projektu velmi solidně naplnila požadavky sklárny na novou pec. Na základě subjektivního rozhodnutí vedení sklárny tedy společnost Teplotechna-Prima, s. r. o. předčila dodavatelské firmy, jež se umístily na prvním, druhém a třetím místě, jejichž sídla se nacházejí v Olomouci, v Brně a v Ostravě.

6 Závěr

Bakalářská práce se zabývá řešením reálného rozhodovacího problému společnosti Ajeto Czech Glass Craft spol. s. r. o. Tato společnost se zabývá ruční výrobou skla, která je zaměřena především na tvorbu designového uměleckého skla. Sklářská tavící pec, v níž se ve sklárně Ajeto taví sklo, již před několika lety přesáhla hranici své garantované životnosti, a proto se nyní vedení sklárny rozhodlo investovat do výstavby nové sklářské pece. Nyní stojí společnost Ajeto před rozhodnutím o výběru vhodného dodavatele tavícího agregátu, který dodá potřebný materiál a pec následně také postaví.

Cílem bakalářské práce bylo za pomoci vícekriteriální analýzy variant zvolit takovou dodavatelskou firmu sklářských pecí, která nejlépe naplňuje požadavky stanovené sklárnou Ajeto. Proto byly v první části rozhodovacího procesu vymezeny požadavky společnosti Ajeto na novou pec. Dle stanovených požadavků následně oslovené dodavatelské firmy vytvořily návrhy vypracování projektu dle jejich možností. Na základě získaných informací od zadavatele a od dodavatelských firem plynoucích ze stanovených požadavků a z předložených návrhů, byl vypracován vícekriteriální rozhodovací model. Kriteriální matice byla sestavena z možných variant, jimiž jsou dodavatelské firmy, a z kritérií: cena, životnost, stavba, záruka, otápeňná plocha, počet izolačních vrstev, dodávka měření a regulace, hořákové tvarovky, kovopráce, požadavek na ubytování, požadavek na vysokozdvizný vozík, požadavek na diamantovou pilu, odvoz materiálu zbourané pece. Váhy kritérií byly vypočteny Saatyho metodou na základě párového porovnání stanoveného zadavatelem projektu. Konzistence matice byla ověřena indexem konzistence a bylo zjištěno, že je matice mírně nekonzistentní, což nebude mít zásadní vliv na výsledek rozhodování. Výpočet vedoucí k rozhodnutí byl proveden metodou TOPSIS.

Po propočtení byla společnosti Ajeto doporučena dodavatelská firma Teplotechna Průmyslové pece s. r. o. sídlící v Olomouci. Přesto se však vedení sklárny dle subjektivního uvážení rozhodlo upřednostnit firmu Teplotechna-Prima, s. r. o. se sídlem v Teplicích.

Z provedené analýzy citlivosti na změnu váhy kritéria Cena vyplývá, že se stoupajícím významem ceny se doporučená varianta Teplotechna Průmyslové pece s. r. o. postupně umísťuje na horších pozicích. Podobně je tomu i u varianty zvolené sklárnou Ajeto, avšak při velkém

důrazu kladeném na cenu se společnost Teplotechna-Prima, s. r. o. opět vrací na čtvrté místo a je tak dokonce na lepší pozici než varianta doporučená k realizaci.

7 Seznam použitých zdrojů

BOZÓKI, Sándor, RAPCSÁK, Tamás. On Saaty's and Koczkodaj's inconsistencies of pairwise comparison matrices. In: *Journal of Global Optimization*. 2008, s. 157–175. DOI: 10.1007/s10898-007-9236-z.

FÁBRY, Jan. *Matematické modelování*. Praha: Professional Publishing, 2011. ISBN 978-80-7431-066-9.

FIALA, Petr. *Modely a metody rozhodování*. Praha: Oeconomica, 2008. ISBN 978-80-245-1345-4.

FOTR, Jiří, Lenka ŠVECOVÁ a kol. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-59-0.

HLAVATÝ, Robert. Saaty's matrix revisited: Securing the consistency of pairwise comparisons. In: *Proceedings of the 32st International conference on Mathematical Methods in Economics*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2014, s. 83–88. ISBN 978-80-244-4209-9.

JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: Kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing, 2002. ISBN 80-86419-42-8.

RAMÍK, Jaroslav. *Analytický hierarchický proces (AHP) a jeho využití v malém a středním podnikání*. Karviná: Slezská univerzita, 2000. ISBN 80-7248-088-X.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*. 1990, **1990**(48), 9-26. ISSN 0377-2217.

SAATY, Thomas L. Relative measurement and its generalization in decision making. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas*. 2008, **2008**(102), 251–318.

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