

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Bakalářská práce

**Aplikace rozhodovacích metod ve společnosti
Dřevěné konstrukce s.r.o.**

Tomáš Svoboda

© 2023 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Svoboda

Ekonomika a management

Název práce

Aplikace rozhodovacích metod ve společnosti Dřevěné konstrukce s.r.o.

Název anglicky

Application of Decision-Making Methods in Dřevěné konstrukce s.r.o.

Cíle práce

Společnost Dřevěné konstrukce s.r.o. plánuje rozšiřování výroby; plánuje postavit novou halu, ve které budou probíhat výrobní procesy. Současně s tím je potřeba postavit nové výrobní linky, které budou splňovat požadavky majitele společnosti.

Cílem této bakalářské práce je výběr CNC stroje k opracování dřeva pro použití v nových výrobních linkách.

Metodika

1. Literární rešerše

- problematika CNC strojů
- rozhodování, rozhodovací procesy
- modely vícekritériální analýzy variant
- metody stanovení vah kritérií
- metody výběru kompromisní varianty

2. Identifikace problému

- představení rozhodovatele
- popis rozhodovací situace, cíle výběru CNC stroje

3. Sestavení rozhodovacího modelu

- stanovení kritérií a jejich vah
- popis variant řešení
- výběr metod pro stanovení kompromisní varianty

4. Výběr varianty

- aplikace vybraných metod pro výběr kompromisní varianty
- analýza citlivosti

5. Závěry a doporučení

- zhodnocení výsledků a doporučení vhodného dodavatele



Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

Vícekriteriální analýza variant, kritérium, varianta, CNC stroj, Dřevěné konstrukce s.r.o., rozhodovatel

Doporučené zdroje informací

FOTR, Jiří a Lenka ŠVECOVÁ. Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje rozhodování v dynamickém a nejistém prostředí. Čtvrté vydání. Jesenice: Ekopress, 2022. ISBN 978-80-87865-76-7.

FOTR, Jiří. Vícekriteriální rozhodování za nejistoty. Praha: Oeconomica, 2020. ISBN 978-80-245-2399-6.

HOLOUBEK, Josef. Ekonomicko-matematické metody. Čtvrté přepracované vydání. V Brně: Mendelova univerzita, 2018. ISBN 978-80-7509-571-8.

JOSTEN, Elmar, Thomas REICHE a Bernd WITTCHEN. Dřevo a jeho obrábění. Praha: Grada, 2010. Průvodce truhláře. ISBN 978-80-247-2961-9.

SARVAŠOVÁ KVIETKOVÁ, Monika a Miroslav SEDLECKÝ. Stroje a zařízení pro zpracování dřeva I. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2019. ISBN 978-80-213-2982-9.

ŠUBRT, Tomáš. Ekonomicko-matematické metody. 3. upravené a rozšířené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2019. ISBN 978-80-7380-762-7.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 ZS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Houška, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 23. 11. 2023

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 11. 2023

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 11. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Aplikace rozhodovacích metod ve společnosti Dřevěné konstrukce s.r.o.“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.11.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing. Milanu Houškovi, Ph.D. za ochotu, cenné rady a čas při konzultacích. Dále bych rád projevil dík panu jednateři společnosti Dřevěné konstrukce s.r.o. Jaroslavu Hořejšímu za poskytnutí prostoru pro zpracování daného tématu. Poslední poděkování patří mé rodině, která mi po celou dobu studia byla velikou oporou.

Aplikace rozhodovacích metod ve společnosti Dřevěné konstrukce s.r.o.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se věnuje aplikaci rozhodovacích metod ve společnosti Dřevěné konstrukce s.r.o. Cílem práce je vybrat nejvhodnějšího dodavatele CNC obráběcího centra, které bude sloužit v nové výrobní hale.

První část práce obsahuje teoretická východiska. Nejprve je vysvětlena problematika CNC obráběcích strojů využívaných ve dřevozpracujícím průmyslu a poté je popsána vícekriteriální analýza variant, která obsahuje rozhodování, model VAV, metody stanovení vah kritérií a metody výběru kompromisní varianty.

Druhá část práce se zabývá popisem rozhodovatele, kritérií, variant výběru a praktickým využitím rozhodovacích metod, které jsou aplikovány na rozhodovací problém společnosti. Váhy kritérií jsou stanoveny pomocí Saatyho metody a pro výběr kompromisní varianty je aplikována metoda TOPSIS.

V poslední části jsou zhodnoceny výsledky a je doporučen nejvhodnější dodavatel CNC obráběcího centra.

Klíčová slova: vícekriteriální analýza variant, CNC obráběcí centrum, dodavatel, rozhodovatel, Dřevěné konstrukce s.r.o., Saatyho metoda, metoda TOPSIS

Application of Decision-Making Methods in Dřevěné konstrukce s.r.o.

Abstract

This bachelor's thesis focuses on the application of decision-making methods in the company Dřevěné konstrukce s.r.o. The aim of the work is to select the most suitable supplier of a CNC router that will be used in the new production hall.

The first part of the thesis contains theoretical background. First, the issue of CNC machine tools used in the woodworking industry is explained and then the multi-criteria decision-making analysis of variants is described, which includes decision-making, MCDM model, methods for determining the weights of criteria and methods of selecting a compromise variant.

The second part of the thesis deals with the description of the decision-maker, criteria, selection variants and the practical application of the decision-making methods that are applied to the company's decision-making problem. The weights of the criteria are determined using the Saaty's method, and the TOPSIS method is applied to select a compromise variant.

In the last section, the results are evaluated and the most suitable CNC router supplier is recommended.

Keywords: multi-criteria decision-making analysis, CNC router, supplier, decision-maker, Dřevěné konstrukce s.r.o., Saaty's method, TOPSIS method

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 Problematika CNC strojů	13
3.1.1 Základní fungování CNC strojů.....	13
3.1.2 Výhody CNC strojů	13
3.1.3 Budoucnost	14
3.2 Rozhodování	14
3.2.1 Subjekt rozhodování	15
3.2.2 Objekt rozhodování.....	15
3.2.3 Rozhodovací proces.....	15
3.2.4 Struktura rozhodovacího procesu	16
3.2.5 Rozhodovací problém	16
3.3 Model vícekritériální analýzy variant	16
3.3.1 Varianty	17
3.3.2 Kritérium.....	17
3.3.3 Kritériální matice	17
3.3.4 Preference kritéria.....	18
3.3.5 Aspirační úroveň.....	18
3.3.6 Váha kritéria	18
3.3.7 Varianty se speciálními vlastnostmi	18
3.4 Metody stanovení vah kritérií	19
3.4.1 Metoda pořadí	20
3.4.2 Bodovací metoda	20
3.4.3 Fullerův trojúhelník	20
3.4.4 Saatyho metoda.....	21
3.5 Metody výběru kompromisní varianty.....	23
3.5.1 Metoda váženého součtu.....	23
3.5.2 Metoda AHP	24
3.5.3 Metoda TOPSIS	24
4 Vlastní práce	27
4.1 Představení rozhodovatele	27
4.1.1 Popis rozhodovací situace.....	28
4.1.2 Cíle výběru CNC stroje.....	28

4.2	Stanovení kritérií výběru.....	29
4.2.1	Cena (MIN).....	29
4.2.2	Rozměry opracování v osách X, Y, Z (MAX).....	29
4.2.3	Elektrický příkon (MIN).....	30
4.2.4	Celkový dojem a zkušenosti s dodavatelem (MAX)	30
4.2.5	Dodací lhůta (MIN)	30
4.3	Popis variant řešení	30
4.3.1	FELDER Group CZ s.r.o. (FORMAT 4 profit H500R 16.56 S).....	30
4.3.2	Epimex dřevostroje s.r.o. (HOMAG Centateq P-310).....	31
4.3.3	HOUFEK a.s. (FENIX H26).....	32
4.3.4	PILART stroje a.s. (HOLZ-HER EPICON 7335)	33
4.3.5	STM s.r.o. (morbidelli m600).....	34
4.4	Přehled kritérií a variant.....	35
4.5	Výběr kompromisní varianty	36
4.5.1	Stanovení vah kritérií.....	36
4.5.2	Výběr vhodného dodavatele pomocí metody TOPSIS	37
5	Výsledky a diskuse	41
6	Závěr.....	42
7	Seznam použitých zdrojů	43
8	Seznam obrázků, tabulek, grafů a vzorců	45
8.1	Seznam obrázků	45
8.2	Seznam tabulek	45
8.3	Seznam grafů.....	45
8.4	Seznam vzorců	45

1 Úvod

Rozhodování je bezpochyby nedílnou součástí našich každodenních životů. Ať už jde o triviální nebo důležitější skutečnosti, každý další den, bez výjimky, je plný nových příležitostí, kdy se musíme rozhodovat. Rozhodování je v podstatě proces výběru mezi alternativami k dosažení konkrétního cíle nebo výsledku.

U významnějších rozhodnutí, které nás mohou do budoucna více ovlivnit, je vhodné využívat rozhodovací metody. Pomohou nám rozvést náš myšlenkový proces, a tak můžeme dospět k rozhodnutí systematicky. Ve firmách jsou pro vedoucí pracovníky důležitá rozhodnutí nedílnou součástí jejich práce. Vícekriteriální analýza variant je poté ideální nástroj k hodnocení a výběru nejlepší alternativy ze souboru možností, kdy je třeba zvážit více kritérií nebo cílů.

V této bakalářské práci je vícekriteriální analýza variant popsána a prakticky využita na příkladu z praxe, ve kterém se jedná o výběr vhodného dodavatele CNC obráběcího centra. Rozhodovatelem je firma Dřevěná konstrukce s.r.o., pro kterou je nákup takového stroje velice důležitou a dlouholetou investicí. V takových případech se musí postupovat zvláště opatrně, jelikož špatné rozhodnutí může vyvolat vážné důsledky.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Společnost Dřevěné konstrukce s.r.o. chystá rozšiřování výroby – plánuje postavit novou halu, ve které budou probíhat výrobní procesy. Současně s tím je potřeba postavit výrobní linky, které budou splňovat požadavky majitele společnosti.

Cílem této bakalářské práce je výběr CNC stroje k opracování dřeva pro použití v nových výrobních linkách.

2.2 Metodika

V této bakalářské práci bude cíle dosaženo dle následujícího postupu, přičemž v teoretické části bude zpracována literární rešerše založená na problematice řešené ve vlastní práci, kde bude užitá praktická aplikace rozhodovacích metod.

1. Literární rešerše
 - problematika CNC strojů
 - rozhodování, rozhodovací procesy
 - modely vícekritériální analýzy variant
 - metody stanovení vah kritérií
 - metody výběru kompromisní varianty
2. Identifikace problému
 - představení rozhodovatele
 - popis rozhodovací situace, cíle výběru CNC stroje
3. Sestavení rozhodovacího modelu
 - stanovení kritérií a jejich vah
 - popis variant řešení
 - výběr metod pro stanovení kompromisní varianty
4. Výběr varianty
 - aplikace vybraných metod pro výběr kompromisní varianty
5. Závěry a doporučení
 - zhodnocení výsledků a doporučení vhodného dodavatele

3 Teoretická východiska

3.1 Problematika CNC strojů

Pojem CNC je zkratkou pro Computer Numerical Control, což znamená počítačem (číslicově) řízený stroj. Jejich vlastnosti výborně popisuje např. Miloslav Štulpa: „*Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem (ŘS) stroje pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, kterým říkáme bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby požadovaná výroba součásti proběhla v pořadí zadaném po jednotlivých blocích, které jsou napsány v NC kódu.*“ (Štulpa, 2015, str. 9)

3.1.1 Základní fungování CNC strojů

Následující odstavce parafrázuji autory knihy *Dřevo a jeho obrábění*, kteří v kapitole *Zásady mechaniky* popisují základní fungování CNC strojů.

Základem CNC obráběcího centra jsou zařízení pro upnutí obrobku, obráběcí agregáty a řídicí pult. Obrobek je na pracovní ploše uložen napevno horizontálně, případně se horizontálně pohybuje dle potřeby. Následně různé vrtací, frézovací a řezací agregáty, pevné nebo pohyblivé, obrábějí třídímenzionálně v osách X, Y a Z daný dílec.

Veškeré použití nástroje a pracovní pohyby jednotlivých agregátů jsou řízeny počítačem, do kterého je zadáván postup pomocí řídicího pultu. Průběh programu lze sledovat na monitoru a může být kdykoliv zastaven nebo korigován.

Moderní stroje mají rovněž samostatnou správu nástrojů. Nevyužívané nástroje jsou umístěny v zásobníku, jenž může být umístěn např. na pojízdném rameni, kde jsou připraveny k použití. Jestliže to vyžaduje průběh procesu, jsou nástroje vyhledány a upnuty počítačem řízenou upínací hlavou, která se přemístí do následující požadované pracovní polohy a pokračuje v obrábění. (Josten, Reiche a Wittchen, 2010, str. 250)

3.1.2 Výhody CNC strojů

Existuje několik důvodů, proč je výhodné upřednostnit ovládání stroje počítačem před manuální prací: přesnost řezů, složitost obráběných dílců, možnost 3D vizualizace

v softwaru a samozřejmě celková bezpečnost. V následujícím textu je připojen přehled těchto výhod popsaných Edwardem Fordem.

Přesnost: Stroje ovládané počítačem se pohybují přesně tak, jak jim řekneme. Pokud potřebujeme, aby se hlava přesunula o 10 cm nebo aby stroj vyvrtal 5cm díru, není to žádný problém. CNC zvládají tyto úkoly plnit opakovaně a mnohem spolehlivěji, než dokážeme manuálně.

Složitost: Realizace mnohých návrhů je velmi těžké dosáhnout pouze s ručními nástroji. Nejmodernější CNC obráběcí centra garantují neomezenou kreativitu. Poradí si s jakkoliv složitými třídimenzionálními tvary, které bychom ručně nebyli schopni vyrobit.

Vizualizace: Díky softwarům CAD (Computer Aided Design) a CAM (Computer Aided Machining) se můžeme podívat na vytvořený 3D model a případně i na simulaci toho, jak stroj bude v reálném světě pracovat a jak bude náš výrobek tvořit.

Bezpečnost: U každého stroje nebo elektrického nářadí, které pracuje s pilovými kotouči, hrozí značné nebezpečí. Pokud nejsou dodržovány bezpečnostní opatření, může dojít k ošklivým úrazům. Nicméně CNC stroje jsou ovládány pomocí počítače, tudíž si od pracovní plochy můžeme držet odstup a díky tomu je veškerá práce s nimi mnohem bezpečnější. Stroje rovněž obsahují nouzové vypínače, díky nimž lze v případě možného nebezpečí celý proces okamžitě přerušit. (Ford, 2016)

3.1.3 Budoucnost

Dnes jsou CNC stroje všudypřítomnou součástí výrobních procesů. A jelikož jsou neustále vyvíjeny nové funkce, vedoucí k lepším výkonům těchto zařízení, je jisté, že se budou stále více podílet na úspěchu dřevařského odvětví. Technologie by měla pomoci podniku stát se úspěšnějším a zlepšit konečný výsledek. Mnoho výrobců dřevěných výrobků po celém světě může dle svých zkušeností předpokládat, že přítomnost CNC technologie navždy změní jejich podnikání. (Albert, 2010, str. 9 a 97)

3.2 Rozhodování

V každodenním životě i v jakékoliv organizaci se velmi často setkáváme se složitými rozhodnutími, kdy nám dělá problém si vybrat jednu z několika variant. Jedním z příkladů může být nakupování. Zkušenosti nám říkají, že nejlevnější produkt není pravděpodobně ten nejlepší, a pokud bychom jako kritérium použili pouze cenu, mohlo by se stát, že si vybereme něco, co není nejlepší volbou. Na druhou stranu, pokud bychom si na první pohled vybrali

ten nejlepší produkt, můžeme si v tom případě koupit právě ten nejdražší, což většinou také není žádoucí. Je tedy zřejmé, že tyto situace vždy vyžadují hledání kompromisní varianty. (Pomerol a Barba-Romero, 2000, str. 1)

3.2.1 Subjekt rozhodování

Podle počtu účastníků rozhodování lze mluvit o situacích s jedním účastníkem nebo o situacích s více účastníky. Účastníci rozhodovacího procesu se rozdělují na racionální a indiferentní. Racionálním účastníkem je nazýván subjekt rozhodování, který svým jednáním aktivně ovlivňuje rozhodovací proces za účelem maximalizace svého užitku. Naopak subjekt, který je k výsledkům lhostejný, je označován jako indiferentní účastník. Rozhodovací situace má vždy alespoň jednoho racionálního účastníka. (Grasseová a kol., 2010, str. 16)

3.2.2 Objekt rozhodování

Objektem rozhodování se zpravidla chápe oblast organizační jednotky, ve které se problém formuloval, stanovil se cíl jeho řešení a jehož se rozhodování týká. Objektem rozhodování může být například technologická inovace. S pojmem objekt rozhodování úzce souvisí varianty řešení problému, se kterými jsou spojeny jejich důsledky, jež chápeme jako předpokládané dopady neboli účinky variant na objekt rozhodování. (Fotr, Švecová a kol., 2022, str. 28)

3.2.3 Rozhodovací proces

Rozhodovací procesy lze pojmut jako procesy řešení rozhodovacích problémů, tj. problémů s více (tj. alespoň dvěma) variantami řešení. Jestliže vycházíme z toho, že základním atributem rozhodování je proces volby (tj. posuzování jednotlivých variant) a výběr rozhodnutí (tj. optimální varianty neboli varianty určené k realizaci), pak problémy pouze s jedním řešením nejsou rozhodovací problémy a řešení těchto problémů není rozhodovacím procesem. (Fotr, Švecová a kol., 2022, str. 20)

Do rozhodovacího procesu vstupují následující faktory:

- rozhodovací problémy (strukturovanost a závažnost),
- podmínky pro rozhodování (čas, riziko a nejistota)
- a osobnost rozhodovatele (styl rozhodování, přístup k rozhodování, zkušenosti).

Tyto faktory ovlivňují celý rozhodovací proces, tedy i konečné rozhodnutí. (Fotr, Švecová a kol., 2022, str. 20)

3.2.4 Struktura rozhodovacího procesu

Rozhodovací procesy můžeme rozdělit do několika fází, které představují určité soubory činností. Díky takové struktuře rozhodovacího procesu dokážeme lépe pochopit postup rozhodování. Dle Herberta A. Simona lze proces rozhodování rozdělit do 4 fází:

1. analýza prostředí – identifikace a stanovení příčiny problému,
2. návrh řešení – hledání variant řešení a jejich analýza,
3. volba řešení – hodnocení variant a volba varianty,
4. kontrola výsledků – hodnocení úspěšnosti rozhodování.

(Jedinák, 2012, str. 43; Simon, 1997, str. 122–127)

3.2.5 Rozhodovací problém

Problémy, ať již rozhodovacího nebo nerozhodovacího charakteru, jsou typické existencí tzv. difference (odchylky) mezi jejím žádoucím a skutečným stavem. Za nežádoucí odchylku je chápána situace, kdy je skutečný stav horší než stav žádoucí (ten můžeme očekávat například na základě předchozích zkušeností). Určité problémy lze také označit jako problémy potenciální, které mohou v budoucnu firmu ohrožovat, nebo jí naopak přinášet příležitosti. Uvědomění si těchto faktorů a včasná reakce na ně, která má opět povahu řešení problému (často inovačního charakteru), znamená prevenci pozdějších potíží. (Fotr, Švecová a kol., 2022, str. 21)

3.3 Model vícekriteriální analýzy variant

Model vícekriteriální analýzy variant se zabývá problémy, jak vybrat jednu nebo více možností z množiny přípustných variant a doporučit je k následné realizaci. Rozhodovatel by měl postupovat maximálně objektivně, k čemuž mu slouží různé postupy a metody analýzy variant. Z tohoto důvodu je možné oddělit osobu zadavatele úlohy od osoby jejího řešitele. Takový postup má svoje výhody i nevýhody. Výhodou bývá skutečnost, že řešitel úlohy bývá (na rozdíl od zadavatele) málokdy zainteresován na výsledku rozhodnutí, a proto postupuje maximálně objektivně. Nevýhodou může být fakt, že řešitel může postrádat obezřetnost se všemi detaily úlohy (v případě, že některé se při zadávání nedaly modelově zachytit). Doporučená varianta k realizaci tak může být sice objektivně „nejlepší“, ale

prakticky by byla lepší jiná varianta, která se umístila např. na druhém místě. (Šubrt a kol., 2011, str. 162)

3.3.1 Varianty

Varianty jsou konkrétní rozhodovací možnosti, jsou realizovatelné a nejsou logickým nesmyslem. Musí být pečlivě vybrány, aby byly reálně dosažitelné a aby mohly být vhodným řešením. Poté jsou varianty hodnoceny podle jednotlivých kritérií. (Šubrt a kol., 2011, str. 163)

3.3.2 Kritérium

Monika Grasseová a kol. ve své publikaci tvrdí, že kritéria hodnocení variant představují hlediska, na základě kterých provádíme hodnocení celkové výhodnosti jednotlivých variant. Kritéria hodnocení mohou být kvantitativní nebo kvalitativní. Kvantitativní kritéria jsou vyjádřena číselně a kvalitativní kritéria jsou vyjádřena slovně. U kvantitativních kritérií rozlišujeme kritéria dle povahy na výnosová neboli maximalizační (čím více, tím lépe) a nákladová neboli minimalizační (čím méně, tím lépe). (Grasseová a kol., 2010, str. 15)

3.3.3 Kriteriaální matice

V úlohách vícekritériaální analýzy variant je definována množina rozhodovacích variant $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, které jsou hodnoceny podle kritérií Y_1, Y_2, \dots, Y_k . Každá varianta $X_i, i = 1, 2, \dots, n$ je podle těchto kritérií popsána tzv. vektorem kriteriaálních hodnot $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik})$. Model tak lze vyjádřit ve tvaru tzv. kriteriaální matice. (Jablonský, 2007, str. 271)

$$\begin{array}{cccc} & Y_1 & Y_2 & \cdots & Y_k \\ \begin{array}{c} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{array} & \left[\begin{array}{cccc} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1k} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nk} \end{array} \right] \end{array}$$

Vzorec 1 – Kriteriaální matice

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 271)

3.3.4 Preference kritéria

Stanovení preferencí kritérií je asi nejobtížnějším úkolem. Vyjadřují důležitost jednoho kritéria v porovnání s kritérii ostatními. Velmi často preference závisí na subjektivním názoru rozhodovatele. Rozumně stanovené preference zajistí skutečně dobré rozhodnutí. (Šubrt a kol., 2011, str. 164–165)

Preference kritérií lze vyjádřit různými způsoby pomocí:

- aspiračních úrovní kritérií (nominální informace o kritériích),
- pořadí kritérií (ordinální informace o kritériích),
- vah jednotlivých kritérií (kardinální informace o kritériích),
- způsobu kompenzace kritériálních hodnot,
- anebo nemusí být známa vůbec.

(Šubrt a kol., 2011, str. 164)

3.3.5 Aspirační úroveň

Aspirační úroveň je hodnota, které má být alespoň dosaženo. Pro minimalizační kritérium je to nejvyšší přípustná hodnota, kdy nejsme ochotni přistoupit na vyšší a pro maximalizační kritérium je to nejnižší možná hodnota, kterou jsme ochotni přijmout. Čím přísnější požadavek aspirační úroveň vyjadřuje, tím je kritérium zřejmě důležitější a naopak. (Šubrt a kol., 2011, str. 165)

3.3.6 Váha kritéria

Váha kritéria odráží, jak významné a důležité je pro rozhodovatele kritérium ve vztahu k dalším kritériím. Číselně se vyjadřuje tak, aby důležitější kritérium mělo vyšší váhu. Normovaná váha v uzavřeném intervalu může nabývat hodnot $<0; 1>$ a součet vah všech kritérií je roven 1. (Grasseová a kol., 2010, str. 82)

3.3.7 Varianty se speciálními vlastnostmi

Dle publikace Tomáše Šubrta a kol. existuje několik variant se speciálními vlastnostmi:

- **Dominovaná varianta:** varianta a_i dominuje variantu a_j , jestliže platí $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik}) \geq (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jk})$ a existuje alespoň jedno kritérium f_l , že $y_{il} > y_{jl}$. Zjednodušeně to znamená, že jedna varianta (dominující) je hodnocena lépe podle všech kritérií než

varianta druhá (dominovaná). Někdy však nelze dominující či dominovanou variantu určit.

- **Vzájemně nedominované varianty:** varianty a_i a a_j jsou vzájemně nedominované, jestliže neplatí předchozí vztah mezi variantami.
- **Paretovska varianta:** není dominovaná žádnou jinou variantou. Říkáme jí nedominovaná varianta, často se též nazývá jako efektivní nebo paretovska. Varianta může dosáhnout lepšího ohodnocení podle kritéria jen za cenu zhoršení jiného kritéria. Jelikož je cílem vybrat tu nejlepší variantu, můžeme ve výběru uvažovat jen nedominované varianty.
- **Ideální a bazální varianta:** ideální je hypotetická nebo reálná varianta, která dosahuje ve všech kritériích současně té nejlepší možné hodnoty. Jejím opakem je bazální varianta, jejíž ohodnocení je nejhorší podle všech kritérií.
- **Kompromisní varianta:** varianta, která je nedominovaná a je doporučena jako řešení problému. Výběr záleží na použitém postupu řešení. Pokud cílem není nalézt jedinou variantu řešení, lze problém vyřešit tím, že nalezneme všechny efektivní varianty a neefektivní varianty se vyloučí.

Existuje více způsobů, jak můžeme kompromisní variantu určit:

- Varianta, která má největší součet nějakým způsobem normalizovaných hodnot ukazatelů.
- Varianta, která má nejmenší vzdálenost od varianty ideální.
- Varianta, kterou lze odvodit pomocí párových porovnání hodnot všech dvojic variant podle všech kritérií.

V každém případě musí kompromisní varianta splnit podmínku nedominovanosti, protože pokud je varianta dominovaná, vůbec nemá smysl o ní uvažovat jako o kompromisní. (Šubrt a kol., 2011, str. 165–166)

3.4 Metody stanovení vah kritérií

V situaci, kdy máme stanoveny více kritérií (budeme realizovat vícekritériální analýzu variant), si musíme stanovit, zda jsou pro nás kritéria indiferentní, nebo diferentní. Mají-li pro nás různý význam, pak jsou diferentní a znamená to, že preferujeme jedno či více kritérií před jinými. Odlišná významnost vyplývá z faktu, že posuzujeme několik kritérií

heterogenních, která jsou nesourodá, jelikož se vyjadřují v různých měrných jednotkách. (Grasseová a kol., 2010, str. 82)

3.4.1 Metoda pořadí

V metodě pořadí dle Josefa Jablonského musí rozhodovatel uspořádat kritéria od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Nejdůležitějšímu kritériu je přiřazena hodnota k (k je počet kritérií), druhému kritériu hodnota $k-1$ a tak dále. Nejméně důležitému kritériu je přiřazena hodnota 1. (Jablonský, 2007, str. 275) Pokud označíme hodnotu přiřazenou i -tému kritériu symbolem p_i , lze odhad kritéria získat pomocí vzorce znázorněného níže.

$$v_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^k p_i}$$

Vzorec 2 – Metoda pořadí

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 275)

3.4.2 Bodovací metoda

Bodovací metoda vyžaduje od rozhodovatele přiřadit každému kritériu určitý počet bodů z předem definované hodnotící bodové stupnice. Rozhoduje se v souladu s jeho názorem na důležitost kritérií. Při vytváření hodnotící bodové stupnice je důležité zvážit její rozsah (čím je stupnice delší, tím lépe můžeme vyjádřit rozdíly mezi jednotlivými kritérii). Počet přidělených bodů je při využití této metody nenormovanou vahou daného kritéria a normované váhy kritérií lze pak získat dle vzorce v předchozí části textu (viz Vzorec 2). (Grasseová a kol., 2010, str. 83–84)

3.4.3 Fullerův trojúhelník

Tomáš Šubrt a kol. tvrdí, že pokud ordinální informace (informace o pořadí) vyjadřuje vztah pouze mezi každou dvojicí hodnocených kritérií, lze použít tzv. metodu párového porovnání. Pokud předpokládáme, že v případě, kdy je kritérium j ohodnocené jako důležitější než l , zároveň platí, že kritérium l je považováno za méně důležité než kritérium j , pak stačí provést počet srovnání dle následujícího vzorce, kde n je počet porovnaných kritérií. (Šubrt a kol., 2011, str. 172)

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

Vzorec 3 – Počet srovnání

Zdroj: vlastní zpracování dle Šubrta a kol. (2011, str. 172)

Autoři dále tvrdí, že toto párové porovnání se většinou provádí pomocí Fullerova trojúhelníku. Postupuje se tak, že u každé dvojice prvků se zakroužkuje ten prvek, který se považuje za důležitější, a pokud označíme počet zakroužkování j -tého prvku n_j , pak váhu tohoto prvku vypočteme podle vzorce níže. (Šubrt a kol., 2011, str. 172)

$$v_j = \frac{n_j}{N}, j = 1, 2, \dots, n$$

Vzorec 4 – Fullerův trojúhelník

Zdroj: vlastní zpracování dle Šubrta a kol. (2011, str. 172)

3.4.4 Saatyho metoda

Stejně jako metoda párového porovnání stanovuje Saatyho metoda preferenční vztahy dvojic kritérií. Saatyho metoda je však důslednější, a proto přesnější díky tomu, že kromě preferenčního srovnání kritérií určuje i velikost dané preference. To znamená, že zjišťuje nejen to, které kritérium je nebo není významnější než jiná kritéria, ale i to, o kolik je či není významnější. (Grasseová a kol., 2010, str. 88–89)

Pro ohodnocení párových porovnání kritérií se dle Tomáše Šubrta a kol. používá devítibodová stupnice, naplňující následující podobu:

- 1 – kritéria i a j jsou si rovnocenná
- 3 – kritérium i je slabě preferované před j
- 5 – kritérium i je silně preferované před j
- 7 – kritérium i je velmi silně preferované před j
- 9 – kritérium i je absolutně preferované před j

Rozhodovatel porovná dvojice kritérií a podle devítibodové stupnice zapíše velikosti preferencí i -tého kritéria vzhledem k j -tému kritériu do tzv. Saatyho matice $S = (s_{ij})$, znázorněné pod tímto odstavcem. (Šubrt a kol., 2011, str. 174)

$$S = \begin{bmatrix} 1 & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ 1/s_{12} & 1 & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/s_{1k} & 1/s_{12} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Vzorec 5 – Saatyho matice

Zdroj: vlastní zpracování dle Šubrt a kol. (2011, str. 175)

Čísla neboli body v matici označují hodnotu významnosti, respektive násobku či podílu preference kritérií v řádcích v porovnání s kritérii ve sloupcích. Z uvedeného vyplývá, že na diagonále budou vždy uvedeny hodnoty 1, jelikož každé kritérium si je samo sobě rovnocenné. U Saatyho metody je možné hodnoty zapisovat pouze nad hlavní diagonálu a poté převrácenou hodnotu zanést pod ní. (Grasseová a kol., 2010, str. 89)

Šubrt a kol. tvrdí, že prvky Saatyho matice nebývají většinou dokonale konzistentní, tzn. že neplatí $s_{hj} = s_{hi} \times s_{ij}$ pro všechna $h, i, j = 1, 2, \dots, n$. Míru konzistence lze měřit například indexem konzistence, který Saaty definoval následujícím vzorcem. (Šubrt a kol., 2011, str. 175)

$$I_s = \frac{l_{max} - n}{n - 1}$$

Vzorec 6 – Index konzistence

Zdroj: vlastní zpracování dle Šubrt a kol. (2011, str. 175)

Přestože je podstata sestavení srovnávací matice prakticky analogická s metodou párového srovnání, princip propočtu vah kritérií je zcela odlišný. V zásadě se mohou použít exaktní postupy, které jsou obvykle výpočetně náročnější, v manažerské praxi je ale přijatelná metoda geometrických průměrů. Geometrický průměr je n -tá odmocnina ze součinu hodnot kritéria, kde n je počet kritérií. Nenormované váhy pak musíme převést na normované pomocí již známého způsobu (viz Vzorec 2). (Grasseová a kol., 2010, str. 89)

$$v_i = \sqrt[n]{x_{i1} \times x_{i2} \times x_{i3} \cdots \times x_{in}}$$

Vzorec 7 – Geometrický průměr

Zdroj: vlastní zpracování dle Grasseové a kol. (2010, str. 90)

3.5 Metody výběru kompromisní varianty

Metod pro výběr kompromisní varianty je velké množství a liší se v různých principech. Nejčastěji používané metody jsou metoda AHP, metoda váženého součtu, metoda funkce užitku, metoda TOPSIS a další. (Jablonský, 2007, str. 280)

Rozdíly v metodách jsou vyvolány tím, jaké informace vyžadují. Existují metody, které nevyžadují žádnou informaci o preferenci kritérií, dále jsou metody vyžadující aspirační úroveň kritérií, metody vyžadující ordinální informace a metody vyžadující kardinální informace. (Šubrt a kol., 2011, str. 178–185)

3.5.1 Metoda váženého součtu

Jablonský (2007, str. 280) tvrdí, že metoda váženého součtu, též nazývána jako metoda WSA (Weighted Sum Approach), je založena na konstrukci lineární funkce užitku na stupnici od 0 až 1. Nejhorší varianta podle daného kritéria bude mít užitek nula a ta nejlepší užitek jedna. Ostatní varianty budou mít užitek mezi krajními hodnotami. Při aplikaci této metody je potřeba nahradit prvky y_{ij} vstupní kritériální matice hodnotami y'_{ij} , které představují užitek varianty X_i při hodnocení podle kritéria Y_j . Pro maximalizační kritéria lze hodnoty získat podle vztahu ve Vzorcí 8, kde D_j je nejnižší (při maximalizaci nejhorší) a H_j nejvyšší (při maximalizaci nejlepší) kritériální hodnota kritéria Y_j .

$$y'_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j}$$

Vzorec 8 – Dílčí užitek varianty pro maximalizační kritéria

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 280)

Pro minimalizační kritéria je potřeba uvedený vztah modifikovat:

$$y'_{ij} = \frac{H_j - y_{ij}}{H_j - D_j}$$

Vzorec 9 – Dílčí užitek varianty pro minimalizační kritéria

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 280)

Celkový užitek varianty X_i lze potom vypočítat jako vážený součet všech dílčích užiteků podle jednotlivých kritérií:

$$u(X_i) = \sum_{j=1}^k v_j y'_{ij}.$$

Vzorec 10 – Celkový užitek varianty

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 280)

3.5.2 Metoda AHP

Metoda AHP (Analytic Hierarchy Process) byla navržena prof. Thomasem L. Saatyem, zmiňovaném už v předchozích kapitolách. Mj. Tomáš Šubrt tvrdí, že metoda poskytuje rámec pro přípravu účinných rozhodnutí, pomáhá zjednodušit a zrychlit přirozený proces rozhodování. AHP rozkládá složité nestrukturované situace na jednodušší komponenty, vytváří tedy hierarchický systém problému – ten je zobecněním (rozšířením) možností vícekritériálního rozhodovacího systému.

Jednoduchá úloha vícekritériální analýzy variant obsahuje 3 úrovně:

- 1. úroveň – cíl vyhodnocování,
- 2. úroveň – kritéria vyhodnocování,
- 3. úroveň – posuzované varianty.

Na každé úrovni hierarchické struktury se aplikuje Saatyho metoda kvantitativního párového porovnání – ta poté pomocí subjektivních hodnocení přiřazuje jednotlivým komponentám kvantitativní charakteristiky, které vyjadřují jejich důležitost. Syntézou těchto hodnocení se následně stanoví komponenta s nejvyšší prioritou, na níž se rozhodovatel zaměří a vybere nejvýhodnější variantu. (Šubrt a kol., 2011, str. 188–189)

3.5.3 Metoda TOPSIS

Podle Josefa Jablonského (2007, str. 281) je metoda TOPSIS založena na výběru varianty, která je neblíže tzv. ideální variantě a současně nejdále od tzv. bazální varianty. Ideální variantu charakterizuje vektor nejlepších hodnot kritérií, zatímco bazální varianta je reprezentována vektorem těch nejhorších kritériálních hodnot. Při popisu metody se předpokládá, že jsou všechna kritéria maximalizačního typu a minimalizační kritéria lze přetransformovat na maximalizační tak, že nové kritérium bude udávat rozdíl oproti nejhorší

kritériální hodnotě. Jedná-li se například o kritérium ceny, zavede se nové kritérium, které udává rozdíl ve srovnání s nejdražší variantou. Vznikne tak kritérium, jenž bude nově svou povahou maximalizační. Metoda TOPSIS spočívá ve výpočtu několika kroků:

1. Transformace původních kritériálních hodnot y_{ij} na hodnoty r_{ij} podle vztahu

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\left(\sum_{j=1}^n y_{ij}^2\right)^{1/2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Vzorec 11 – Metoda TOPSIS – transformace kritériálních hodnot

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 281)

2. Vypočítají se prvky vážené kritériální matice $W = (w_{ij})$ jako

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

Vzorec 12 – Metoda TOPSIS – vážená kritériální matice

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 281)

3. Z prvků matice W se určí ideální varianta H a bazální varianta D , kde

$$H_j = \max_i (w_{ij}) \text{ a } D_j = \min_i (w_{ij}), \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Vzorec 13 – Metoda TOPSIS – ideální a bazální varianta

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 281)

4. V předposledním kroku se vypočítají vzdálenosti všech variant od ideální a bazální varianty podle vztahů

$$d_i^+ = \left[\sum_{j=1}^k (w_{ij} - H_j)^2 \right]^{1/2}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

Vzorec 14 – Metoda TOPSIS – vzdálenost od ideální varianty

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 281)

$$d_i^- = \left[\sum_{j=1}^k (w_{ij} - D_j)^2 \right]^{1/2}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Vzorec 15 – Metoda TOPSIS – vzdálenost od bazální varianty

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 281)

5. V posledním kroku se vypočítá ukazatel c_i jako relativní vzdálenost variant od bazální varianty:

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Vzorec 16 – Metoda TOPSIS – ukazatel relativní vzdálenosti variant od bazální varianty

Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonského (2007, str. 281)

Hodnoty těchto ukazatelů se pohybují v intervalu $(0; 1)$, kde hodnoty 0 nabývá bazální varianta a hodnoty 1 nabývá ideální varianta. Následně varianty seřadíme sestupně podle hodnot c_i a variantu (případně více variant) s nejvyššími hodnotami tohoto ukazatele považujeme za řešení daného problému. (Šubrt a kol., 2011, str. 193)

4 Vlastní práce

4.1 Představení rozhodovatele

V současnosti se bude rozhodovat o novém dodavateli CNC obráběcího centra ve společnosti Dřevěné konstrukce s.r.o. – ta sídlí v Sedlčanech, malém městě ležícím asi 60 kilometrů jižně od Prahy, a už od roku 1999 se nepřetržitě věnuje práci se dřevěným materiálem.

Její hlavní činností je výroba dřevěných příhradových vazníků, konstrukcí a krovů pro rodinné domy i haly, výroba dřevěných staveb pro dům i zahradu a lepení BSH hranolů, ale věnují se i individuálním projektům.

Sídlo společnosti disponuje jednou výrobní halou, kancelářskými prostory a dvěma sklady řeziva. Pro výrobu stavebních prvků se zde používají CNC obráběcí a lisovací stroje, tloušťkovací frézky (hoblovky), formátovací pily a všechen těžký materiál i výrobky putují po prostorách haly pomocí vozíků a dvou mostových jeřábů.

Aktuálně zde pracuje dvacet pět zaměstnanců a v průběhu roku chodí vypomáhat několik brigádníků.

Oddělení vazníků zaměstnává celkem dvanáct lidí, přičemž šest se jich stará o lisování vazníků, dva o přířezy na CNC pilách, dva o jejich projekci, jeden zabezpečuje provoz a jeden obchod.

V druhém oddělení, „dřevo pro dům“, se pohybuje lidí šest. Jeden pracuje na CNC obráběcím stroji, jeden montuje prefabrikáty, dva mají na starost projekci a další dva obchod.

Posledním oddělením je lepení BSH hranolů pevnostní třídy GL24h, kde pracují tři lidé. Ti na výrobní hale lepí a hoblují dřevo, které putuje buď přímo k zákazníkům, nebo ho dále zpracovává oddělení „dřevo pro dům“ do svých výrobků.

Společnost má ve svých lidských zdrojích ještě dva skladníky, jednoho řidiče kamionu, jednu administrativní pracovníci, dva externí účetní a několik externích montážníků, kteří výrobky kompletují přímo na místech stavby.

Já osobně ve firmě působím již pár let jako brigádní výpomoc a na výběru vhodného dodavatele CNC obráběcího centra se budu podílet.

4.1.1 Popis rozhodovací situace

Přibližně před dvěma roky se vedení firmy rozhodlo, že postaví novou výrobní halu, jelikož v té stávající jsou výroba i skladování materiálů a výrobků značně omezeny nedostačujícím prostorem. Především zde nemohou vznikat nové výrobní procesy, které by firma ráda provozovala, jelikož investice do dalších či nových větších strojů není možná kvůli velikosti haly. Také zde vznikají občasně prostoje, způsobené dostupností pouze jednoho mostového jeřábu v hlavní části budovy.

Další problém představují kancelářské prostory, které již kapacitně také nedostačují, protože se na malém prostoru tří kanceláří a jedné společné místnosti pohybuje celkem deset lidí.

Všechny tyto skutečnosti jsou důvodem k rozšíření a přenesení části výroby do nových prostor, vyhovujícím všem potřebám. Bude se moct modernizovat podle představ pana jednatele, zaměstnanci budou pracovat v novém a příjemnějším prostředí, a to s novými a spolehlivějšími stroji, a především bude firma schopná vyhovět svým zákazníkům ve více oblastech tesařství a truhlářství, ve kterých jim dosud nedokázala vyhovět.

Jednou z plánovaných modernizací výrobních linek je právě plošné CNC obráběcí centrum, které se plánuje využívat v oddělení „dřeva pro dům“.

4.1.2 Cíle výběru CNC stroje

V oddělení „dřeva pro dům“ společnost již nyní vlastní jedno CNC obráběcí centrum, ale to je využíváno pouze pro trámový materiál.

Nové plošné CNC obráběcí centrum by mělo také sloužit k opracovávání masivního dřeva. Stroj sice zvládne obrábět kratší kusy materiálu, ale jeho hlavní výhodou oproti současně využívané variantě je možnost pracovat s plošným materiálem, tedy s různými deskami a širšími kusy dřeva; bez problémů zvládne např. sériovou výrobu dveří, oken nebo schodišť.

Další výhodou je to, že jeho vřeteno lze polohovat v pěti osách. Přesněji to znamená, že řezný nástroj se orientuje ve třech lineárních a dvou rotačních osách. Díky tomu lze dosáhnout prakticky libovolného tvaru obrobku na jedno upnutí, tudíž má tato varianta stroje v podstatě neomezené možnosti obráběcích procesů.

Z těchto uvedených vlastností vyplývá schopnost dosáhnout vysoké přesnosti při zpracování materiálu – jelikož je stroj navržen především na truhlářskou práci, která si větší odchylky ve finálním produktu nemůže dovolit. Souvisí to také s trendem produkování

náročnějších a složitějších obrobků a zvyšujících se požadavků na přesnost a kvalitu jednotlivých komponentů. Spolehlivost takové metody zaručuje udržení nejvyššího standartu kvality.

Dalším bonusem takového plošného CNC obráběcího centra je, že nezabere tolik pracovního prostoru. Oproti již využívanému CNC stroji, ve kterém se pohybuje především obráběný materiál (strojem z jedné strany na druhou prochází dlouhý díl dřeva, jenž je během procesu různými způsoby opracováván), zde je naopak obrobek upnutý na místě a v pohybu je pouze upínací hlava a řezné nástroje. Všechny procesy totiž probíhají pouze na pracovní ploše zařízení, kde pohyb materiálu není vyžadován, takže k tomu nejsou nutné další dlouhé dopravníky nebo vykládací stoly za strojem. Zbytek plochy výrobní haly lze tedy využít k jiným praktickým účelům.

4.2 Stanovení kritérií výběru

Dle požadavků rozhodovatele byla pro výběr CNC stroje stanovena následující kritéria, zde seřazena sestupně podle významnosti:

1. cena,
2. rozměry opracování v osách X, Y, Z,
3. elektrický příkon,
4. celkový dojem a zkušenosti s dodavatelem,
5. dodací lhůta.

4.2.1 Cena (MIN)

Celková cena bude pro rozhodovatele nejdůležitějším kritériem, samozřejmě minimalizačním. Jelikož se jedná o pořízení stroje ve firmě, budou zde uváděny ceny v eurech (EUR) bez DPH.

4.2.2 Rozměry opracování v osách X, Y, Z (MAX)

Rozměry opracování jsou druhým nejdůležitějším kritériem, tentokrát maximalizačním. Pro rozhodovatele je velice důležité z toho důvodu, aby měl co nejvíce možností ve velikostech obrobků, tudíž aby mohl vyrábět více velikostně rozmanitých produktů. Osa X značí maximální délku obráběného dílce, Y maximální šířku a Z maximální výšku. Konečná posuzovaná hodnota vznikne vynásobením všech tří rozměrů a bude uvedena v milimetrech.

4.2.3 Elektrický příkon (MIN)

Maximální elektrický příkon stroje je pro rozhodovatele důležitý vzhledem ke spotřebě elektrické energie. Potřebuje, aby zařízení nebylo tolik energeticky náročné, tedy provozně co nejméně nákladné, a zároveň je důležité pro stroj dokázat obstarat dostatečné množství energie například i z do budoucna plánované fotovoltaické elektrárny. Z těchto důvodů se samozřejmě jedná o kritérium minimalizační; hodnoty budou uvedené v kWh.

4.2.4 Celkový dojem a zkušenosti s dodavatelem (MAX)

Jak probíhalo jednání ze strany dodavatele je rovněž důležitým kritériem, avšak rozhodně ne tím nejdůležitějším. Nicméně rozhodování určitě ovlivňují předchozí zkušenosti s dodavatelem, to, do jaké míry působí solidně a zda rychle, nebo pomalu odpovídá na emailovou či telefonickou komunikaci. Toto maximalizační kritérium bude subjektivně ohodnoceno body 1 až 5, kdy jeden bod označuje nejmenší spokojenost a pět bodů největší.

4.2.5 Dodací lhůta (MIN)

Dodací lhůta je pro rozhodovatele nejméně významná, jelikož výstavba nové haly je stále v procesu, a proto není investice do nových strojů urgentní záležitostí. Až bude ale realizace aktuální, chce se pochopitelně vyhnout zdlouhavým jednáním spojeným s dodávkou stroje a požaduje, aby vše proběhlo v co nejkratším čase. Hodnoty tohoto minimalizačního kritéria budou uvedeny v měsících.

4.3 Popis variant řešení

Jménem firmy Dřevěné konstrukce s.r.o. jsem kontaktoval celkem pět různých dodavatelů a s jedním z nich si sjednal i osobní schůzku. Schůzka nám pomohla hlavně v tom, abychom zjistili, jaké možnosti mají taková plošná CNC obráběcí centra, a mohli jsme tak ostatním dodavatelům upřesnit naše požadavky na vybavení stroje. Obdrželi jsme tak pět cenových nabídek, které budou dále porovnány.

4.3.1 FELDER Group CZ s.r.o. (FORMAT 4 profit H500R 16.56 S)

Dodavatel FELDER Group CZ s.r.o. je distributorem rakouské firmy FELDER KG, jenž vyvíjí, vyrábí a prodává stroje na zpracování dřeva už od roku 1956. Rozhodovatel s ním má dlouholeté a dobré zkušenosti – vlastní od něj například formátovací pilu, čtyři

odsavače pilin, a dokonce i tloušťkovací frézku (tzv. hoblovku), která je stěžejním bodem v opracování lepených trámů. Komunikace s touto firmou probíhala skvěle, a to právě i z toho důvodu, že s jednatelem její české divize má naše firma vybudovaný dobrý, až přátelský vztah. Osobně jsem s vedením během pár dní vykomunikoval naše požadavky, načež nám byla zaslána nabídka na stroj profit H500R 16.56 S z řady FORMAT 4 v hodnotě 262 158 EUR bez DPH včetně dopravy, montáže a školení.



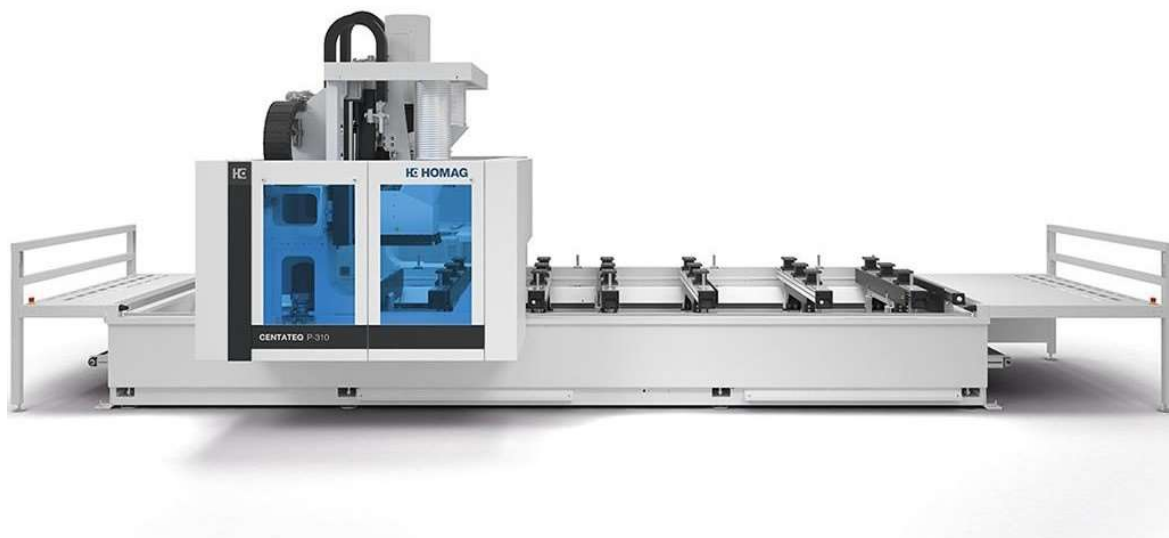
Obrázek 1 – FORMAT 4 profit H500R 16.56 S

Zdroj: FELDER Group CZ s.r.o., 2023

4.3.2 Epimex dřevostroje s.r.o. (HOMAG Centateq P-310)

Tento dodavatel prodává stroje vyráběné německou společností Homag Group AG, která se ve světě dřevobrábění pohybuje od roku 1960. Rozhodovatel má s firmou Epimex též velmi dobré vztahy a je s jejich jednáním, ochotou a servisem vždy velmi spokojen. Od značky Weinmann, patřící do skupiny Homag, vlastní dvě CNC obráběcí centra, jedno v oddělení „dřevo pro dům“ na opracování hranolů a jedno na přířezy do vazníkových konstrukcí.

Rozhodovatel jednal s firmou Epimex o pořízení stroje HOMAG Centateq P-310 už v minulosti, nyní byla tedy původní cenová nabídka aktualizována a rozšířena o další požadavky. Cena se vyšplhala na 359 598 EUR bez DPH včetně dopravy, montáže a školení.



Obrázek 2 – HOMAG Centateq P-310

Zdroj: Epimex dřevostroje s.r.o., 2023

4.3.3 HOUFEK a.s. (FENIX H26)

Dodavatel HOUFEK je jedinou firmou, která své stroje vyvíjí sama na území České republiky a ze všech pěti zvažovaných variant je nejmladším vývojářem dřevobráběcích technologií, začala působit až v roce 1991. Nicméně, tyto skutečnosti nemění nic na tom, že ve výrobě obráběcích strojů dokážou konkurovat i světovým špičkám.

Jelikož byl pro nás tento dodavatel v podstatě neznámý, sjednali jsme si s ředitelem jejich divize CNC/prodej osobní schůzku v prostorách naší firmy, kde jsme společně prošli celou výrobní halu a vzájemně si upřesnili naše představy a požadavky. Jednání pana ředitele na nás působilo profesionálně, navíc bylo zřejmé, že problematice CNC strojů opravdu rozumí. Přesto jsme ohledně některých jeho návrhů řešení nebyly přesvědčeni a z celé schůzky jsme měli smíšené pocity. Jisté rozpaky možná způsobila i fakt, že se jednalo o první zkušenost rozhodovatele s touto značkou. Následně nám firma zaslala nabídku na stroj FENIX H26 v hodnotě 459 046 EUR bez DPH včetně dopravy, montáže a školení – tím se stala nejdražší ze všech uváděných variant.



Obrázek 3 – FENIX H26

Zdroj: HOUFEK a.s., 2023

4.3.4 PILART stroje a.s. (HOLZ-HER EPICON 7335)

Dodavatel PILART stroje a.s. je pro Českou republiku výhradním zástupcem německé firmy HOLZ-HER GmbH, která své stroje vyrábí od roku 1914, což značí dlouholeté zkušenosti v oboru. Výrobce je rozhodovateli znám, jelikož se s jeho produkty již setkal na veletrhu dřevoobráběcích strojů a udělal na něj příjemný dojem, ale osobní zkušenosti s jejich stroji prozatím nemá.

Jednání o cenové nabídky probíhalo telefonicky přímo s ředitelem představenstva společnosti. Komunikace byla příjemná a velice rychlá. Dva dny od prvního telefonátu nám přišla cenová nabídka na stroj HOLZ-HER EPICON 7335 v hodnotě 192 800 EUR bez DPH včetně dopravy, montáže a školení – tento dodavatel se tak stal nejlevnějším ze všech uváděných variant. Mimo to jsme obdrželi pozvánku na výstavu jejich zařízení, ale tuto možnost rozhodovatel prozatím nevyužil.



Obrázek 4 – HOLZ-HER EPICON 7335

Zdroj: PILART stroje a.s., 2023

4.3.5 STM s.r.o. (morbidelli m600)

Tento dodavatel, poslední ze všech variant, je autorizovaný prodejce italské firmy SCM Group S.p.A., která se specializuje na výrobu dřevoobráběcích strojů již od roku 1952. Se svými pobočkami rozmístěnými po celém světě má nejrozšířenější distribuční síť v oboru. Stejně jako u firmy HOLZ-HER s jeho stroji rozhodovatel nemá žádné zkušenosti, ale samozřejmě už o nich několikrát slyšel a osobně je viděl na různých veletrzích, kde ho jejich technologie velmi zaujaly. Firma na něj příznivě působila i díky vždy profesionálnímu vystupování svých zástupců.

Komunikace se specialistkou z obchodního oddělení probíhala velmi intenzivně – uskutečnilo se několik telefonních rozhovorů, kdy se nám snažila ve všem co nejvíce vyhovět a její ochota byla opravdu úžasná. Dokonce nám nabídla i jinou a levnější verzi CNC obráběcího centra, než jsme původně poptávali, tu jsme ale kvůli menším rozměrům pracovního pole z výběru vyřadili. Finální nabídka na stroj morbidelli m600 je v hodnotě 279 129 EUR bez DPH včetně dopravy, montáže a školení.



Obrázek 5 – morbidelli m600

Zdroj: STM s.r.o., 2023

4.4 Přehled kritérií a variant

Pro potřeby aplikace rozhodovacích metod je zapotřebí převést kvalitativní kritérium Celkový dojem a zkušenosti s dodavatelem na kvantitativní znak.

Dodavatel	Spokojenost (kvalitativní znak)	Body (kvantitativní znak)
FELDER Group CZ s.r.o.	velká	4
Epimex dřevostroje s.r.o.	velmi velká	5
HOUFEK a.s.	malá	2
PILART stroje a.s.	neutrální	3
STM s.r.o.	velmi velká	5

Tabulka 1 – Kritérium Celkový dojem a zkušenosti s dodavatelem

Zdroj: vlastní zpracování

Nyní lze hodnoty, včetně všech zbývajících, které byly obsahem cenových nabídek, zanást do tzv. kritériální matice, která obsahuje přehled všech kritérií a variant, v podobě následující tabulky:

Dodavatel/kritérium	Cena (EUR)	Rozměry opracování (mm)	Elektrický příkon (kW)	Celkový dojem (body)	Dodací lhůta (měsíc)
FELDER Group CZ s.r.o.	262 158	5540 × 1570 × 250	29	4	3
Epimex dřevostroje s.r.o.	359 598	6000 × 1900 × 200	29	5	7
HOUFEK a.s.	459 046	6000 × 2600 × 150	60	2	9
PILART stroje a.s.	192 800	5480 × 2100 × 300	22	3	4
STM s.r.o.	279 129	6360 × 1905 × 250	38	5	6
Povaha kritéria	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN

Tabulka 2 – Kritériální matice

Zdroj: vlastní zpracování

4.5 Výběr kompromisní varianty

4.5.1 Stanovení vah kritérií

Pro stanovení vah kritérií se vybrala tzv. Saatyho metoda párového porovnání. K ohodnocení párových porovnání kritérií rozhodovatel použil doporučenou devítibodovou Saatyho stupnici (viz kapitola 3.4.4), a váhy jsou tedy silně ovlivněny jeho subjektivními preferencemi ohledně kritérií. Geometrický průměr byl vypočítán podle vztahu ve Vzorcí 7 a následně se nenormované váhy převedly na normované pomocí vztahu ve Vzorcí 2.

Kritérium	Cena	Rozměry opracování	Elektrický příkon	Celkový dojem	Dodací lhůta	Geomet. průměr	Váha
Cena	1	3	5	5	9	3,6801	0,5005
Rozměry opracování	0,33	1	3	3	7	1,8384	0,2500
Elektrický příkon	0,20	0,33	1	1	5	0,8027	0,1092
Celkový dojem	0,20	0,33	1	1	5	0,8027	0,1092
Dodací lhůta	0,11	0,14	0,20	0,20	1	0,2294	0,0312
SUMA						7,3534	1,0000

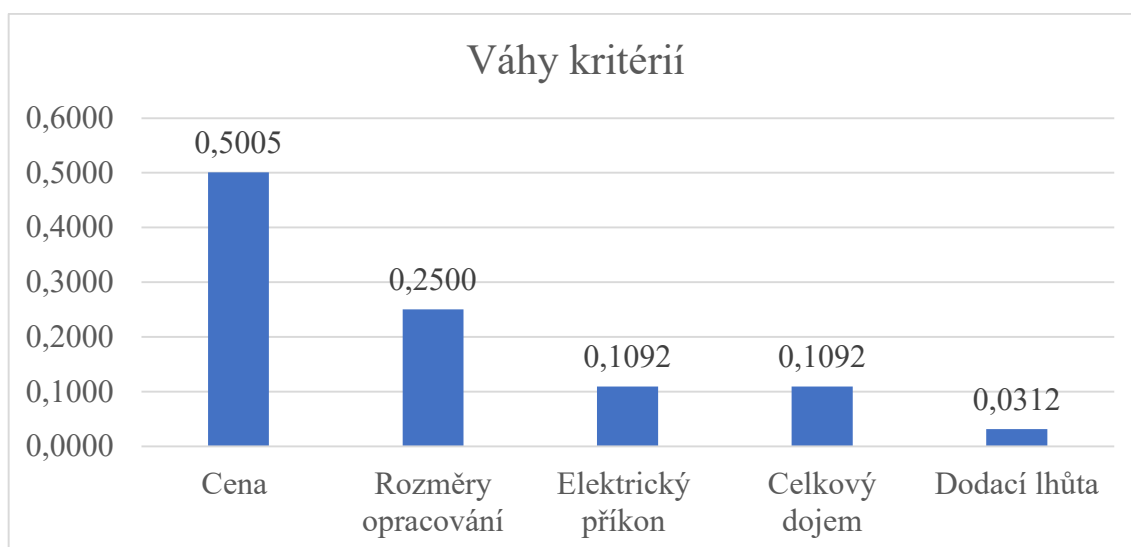
Tabulka 3 – Výpočet vah kritérií pomocí Saatyho metody

Zdroj: vlastní zpracování

Kritérium	Váha
Cena	0,5005
Rozměry opracování	0,2500
Elektrický příkon	0,1092
Celkový dojem	0,1092
Dodací lhůta	0,0312
SUMA	1,0000

Tabulka 4 – Přehled vypočtených vah kritérií

Zdroj: vlastní zpracování



Graf 1 – Sloupcový graf vah kritérií

Zdroj: vlastní zpracování

Podle preferencí rozhodovatele je nejdůležitějším kritériem Cena. Přesně o polovinu méně důležité je další významné kritérium, a to Rozměry opracování. Méně podstatnými kritérii jsou Elektrický příkon a Celkový dojem – ty jsou na stejné úrovni. Nejméně významným kritériem je pak Dodací lhůta.

4.5.2 Výběr vhodného dodavatele pomocí metody TOPSIS

Pro výběr kompromisní varianty byla použita metoda TOPSIS. Jak pomocí ní postupovat je popsáno v teoretické části práce (viz kapitola 3.5.3).

Metoda je založená na porovnání variant podle toho, jak moc jsou vzdálené od ideální a bazální varianty. Nejprve je ale důležité převést původní kritériální matici (viz Tabulka 2) na normalizovanou kritériální matici R (viz Tabulka 5) pomocí vztahu ve Vzorci 11.

Dodavatel/kritérium	Cena	Rozměry opracování	Elektrický příkon	Celkový dojem	Dodací lhůta
FELDER Group CZ s.r.o.	0,3622	0,3599	0,3415	0,4500	0,2171
Epimex dřevostroje s.r.o.	0,4968	0,3774	0,3415	0,5625	0,5065
HOUFEK a.s.	0,6342	0,3873	0,7066	0,2250	0,6512
PILART stroje a.s.	0,2664	0,5715	0,2591	0,3375	0,2894
STM s.r.o.	0,3857	0,5014	0,4475	0,5625	0,4341

Tabulka 5 – Normalizovaná kritériální matice R

Zdroj: vlastní zpracování

Ve druhém kroku do výpočtu vstupují váhy kritérií, které byly vypočteny pomocí Saatyho metody (viz Tabulka 3). Po využití vztahu ve Vzorci 12 vzniká normalizovaná vážená kritériální matice W (viz Tabulka 6).

Dodavatel/kritérium	Cena	Rozměry opracování	Elektrický příkon	Celkový dojem	Dodací lhůta
FELDER Group CZ s.r.o.	0,1813	0,0900	0,0373	0,0491	0,0068
Epimex dřevostroje s.r.o.	0,2487	0,0944	0,0373	0,0614	0,0158
HOUFEK a.s.	0,3174	0,0968	0,0771	0,0246	0,0203
PILART stroje a.s.	0,1333	0,1429	0,0283	0,0368	0,0090
STM s.r.o.	0,1930	0,1254	0,0489	0,0614	0,0135

Tabulka 6 – Normalizovaná vážená kritériální matice W

Zdroj: vlastní zpracování

Ve třetím kroku se z matice W určí ideální varianta H a bazální varianta D. Ideální varianta se skládá z těch nejlepších hodnot jednotlivých kritérií, tedy pro maximalizační kritéria je to nejvyšší hodnota a pro minimalizační kritéria hodnota nejmenší. U bazální varianty se jedná o přesný opak. Čísla (viz Tabulka 7) jsou výchozími hodnotami pro měření vzdáleností variant od ideální a bazální varianty.

Varianta/kritérium	Cena	Rozměry opracování	Elektrický příkon	Celkový dojem	Dodací lhůta
Ideální H	0,1333	0,1429	0,0283	0,0614	0,0068
Bazální D	0,3174	0,0900	0,0771	0,0246	0,0203

Tabulka 7 – Ideální varianta H a bazální varianta D

Zdroj: vlastní zpracování

Ve čtvrtém kroku vypočteme vzdálenosti variant od ideální a bazální varianty. V prvním sloupci se nachází hodnoty vzdáleností jednotlivých variant od ideální varianty H vypočtené podle vztahu ve Vzorcí 14. Ve druhém sloupci se nachází hodnoty vzdáleností jednotlivých variant od bazální varianty D, které jsou vypočtené podle vztahu ve Vzorcí 15.

Dodavatel/vzdálenost var.	d_i^+	d_i^-
FELDER Group CZ s.r.o.	0,0730	0,1446
Epimex dřevostroje s.r.o.	0,1258	0,0878
HOUFEK a.s.	0,1999	0,0069
PILART stroje a.s.	0,0247	0,1984
STM s.r.o.	0,0659	0,1376

Tabulka 8 – Vzdálenost variant od ideální a bazální varianty

Zdroj: vlastní zpracování

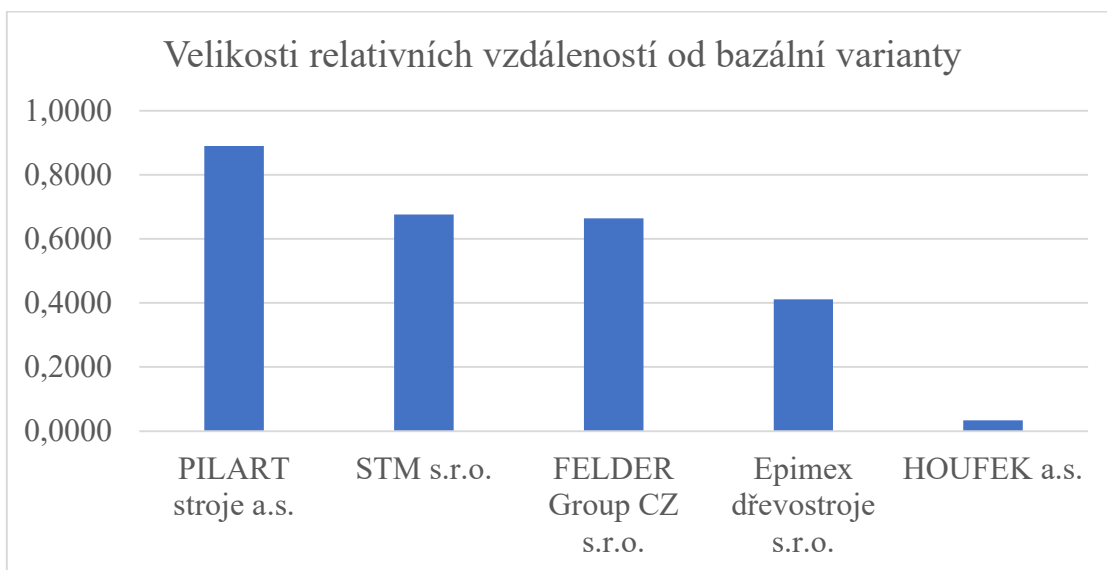
V pátém a posledním kroku metody TOPSIS se vypočtou relativní ukazatele c_i jako vzdálenosti jednotlivých variant od bazální varianty podle vztahu ve Vzorcí 16. Následně lze podle hodnot tohoto ukazatele určit, jaké je výsledné pořadí variant od nejvhodnější po nejméně vhodnou. Čím je ukazatel vyšší, tím je varianta vhodnější, jelikož je žádoucí, aby vzdálenost od bazální (tj. nejhorší) varianty byla co největší.

Dodavatel	d_i^+	d_i^-	c_i	Pořadí
FELDER Group CZ s.r.o.	0,0730	0,1446	0,6645	3
Epimex dřevostroje s.r.o.	0,1258	0,0878	0,4112	4
HOUFEK a.s.	0,1999	0,0069	0,0331	5
PILART stroje a.s.	0,0247	0,1984	0,8894	1
STM s.r.o.	0,0659	0,1376	0,6762	2

Tabulka 9 – Výpočet relativních ukazatelů vzdáleností variant od bazální varianty

Zdroj: vlastní zpracování

Z velikostí relativních vzdáleností od bazální varianty (viz Graf 2) je zřejmé, že nejlépe hodnocenou variantou je dodavatel PILART stroje a.s., který by měl být doporučen rozhodovateli (na základě výpočtů pomocí metody TOPSIS) jako nejvhodnější varianta ke koupi CNC obráběcího centra. Na druhém a třetím místě jsou s velice podobnými hodnotami dodavatelé STM s.r.o. a FELDER Group CZ s.r.o. Na čtvrtém místě je dodavatel Epimex dřevostroje s.r.o. a jako nejméně vhodná varianta pro nákup CNC obráběcího centra je s velkým odstupem dodavatel HOUFEK a.s.



Graf 2 – Velikosti relativních vzdáleností od bazální varianty

Zdroj: vlastní zpracování

5 Výsledky a diskuse

Účelem praktické části této bakalářské práce bylo nalézt kompromisní variantu z výběru dodavatelů a doporučit tak ke koupi vhodné CNC obráběcí centrum, které má sloužit k opracování dřevěných prvků v nové výrobní hale firmy Dřevěné konstrukce s.r.o.

Po aplikaci metody TOPSIS bylo zjištěno, že bezkonkurenčně nejvhodnější uvažovanou variantou je dodavatel PILART stroje a.s. a jeho CNC obráběcí centrum HOLZHER EPICON 7335. Ukazatel relativní vzdálenosti od bazální varianty nabývá hodnoty 0,8894. Takto vysokou hodnotu lze vysvětlit dominancí především v nízké ceně a také v rozměrech opracování, což byla ta nejdůležitější kritéria s nejvyšší vahou.

Za doporučení by rovněž stály i další dvě varianty – jako druhý v pořadí dodavatel STM s.r.o. se strojem morbidelli m600 od italského výrobce SCM Group S.p.A. a s velice podobnou hodnotou na třetím místě FELDER Group CZ s.r.o. a jejich stroj FORMAT 4 profit H500R 16.56 S.

Na čtvrtém místě skončil dodavatel Epimex dřevostroje s.r.o., který nabízel stroj HOMAG Centateq P-310 od německého výrobce Homag Group AG. I přestože má rozhodovatel s touto firmou bohaté zkušenosti, jelikož vlastní dvě CNC obráběcí centra od značky Weinmann, která spadá do již zmíněné skupiny Homag, tak v tomto výběru neobstála.

Poslední místo obsadil dodavatel HOUFEK a.s. a stroj FENIX H26. Ukazatel relativní vzdálenosti od bazální varianty činil pouhých 0,0331, tudíž tuto variantu rozhodně nelze rozhodovateli doporučit.

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo nalézt a doporučit pomocí aplikace rozhodovacích metod nejvhodnějšího dodavatele CNC obráběcího centra k opracování dřeva pro použití v nové výrobní hale firmy Dřevěné konstrukce s.r.o.

Teoretická část se věnuje problematice CNC obráběcích center, rozhodování, modelu vícekritériální analýzy variant, metodě stanovení vah kritérií a metodě výběru kompromisní varianty. Tyto teoretické poznatky byly sepsány, aby mohly být následně využity pro sestavení rozhodovacího modelu ve druhé části práce.

V praktické části je nejprve představen rozhodovatel, jeho současná rozhodovací situace a cíle výběru CNC obráběcího centra. Dále jsou dle preferencí rozhodovatele stanovena kritéria, jejichž váhy byly vypočítány dle Saatyho metody. Blíže popsány jsou i varianty dodavatelů, které byly předmětem řešení. Při výběru množiny zvažovaných dodavatelů se vycházelo především ze zkušeností rozhodovatele. Se dvěma dodavateli má rozhodovatel dlouhodobé zkušenosti a vlastní již některé z jejich produktů, další dvě varianty byly vybrány na základě návštěv různých veletrhů a poslední varianta se zvolila po průzkumu trhu. Konkrétní CNC stroje jsou podobného typu a byly vybrány tak, aby zvládaly takové pracovní úkony, jež rozhodovatel od strojů očekává. Pomocí metody TOPSIS proběhl výpočet kompromisní varianty a bylo stanoveno konečné pořadí všech variant.

Z výsledků v poslední části práce vyplývá, že společnosti Dřevěné konstrukce s.r.o. je ke koupi CNC obráběcího centra doporučen dodavatel PILART a.s. a stroj HOLZ-HER EPICON 7335, jelikož dosahuje nejlepšího hodnocení. Za zvážení by stály také další dvě varianty v pořadí, a to dodavatel STM s.r.o. a FELDER Group CZ s.r.o., kteří na rozhodovatele udělali velice dobrý celkový dojem. Z těchto důvodů bylo rozhodovateli dále doporučeno, aby si s těmito dodavateli naplánoval osobní schůzky, které s jistotou povedou k úspěšnému dosažení požadovaného cíle.

7 Seznam použitých zdrojů

Knižní publikace:

ALBERT, Alain. *Understanding CNC Routers*. Vancouver: FPInnovations – Forintek Division, 2011.

FORD, Edward. *Getting Started with CNC*. San Francisco: Maker Media, 2016. ISBN 978-1-457-18336-2.

FOTR, Jiří; ŠVECOVÁ, Lenka a kol. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje rozhodování v dynamickém a nejistém prostředí*. 4. vyd. Jesenice: Ekopress, 2022. ISBN 978-80-87865-76-7.

GRASSEOVÁ, Monika; MAŠLEJ, Miroslav a BRECHTA, Bohumil. *Manažerské rozhodování. Teoretická východiska a praktické příklady*. Brno: Univerzita obrany, 2010. ISBN 978-80-7231-730-1.

JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum. Kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.

JEDINÁK, Petr. *Profese manažera v organizacích veřejné správy. Charakteristika manažera, zastávané role a vybrané personální činnosti*. Zlín: VeRBuM, 2012. ISBN 978-80-87500-26-2.

JOSTEN, Elmar; REICHE, Thomas a WITTCHEN, Bernd. *Dřevo a jeho obrábění*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-2961-9.

POMEROL, Jean-Charles a BARBA-ROMERO, Sergio. *Multicriterion Decision in Management. Principles and Practice*. New York: Springer Science+Business Media, 2000. ISBN 978-1-4613-7008-6.

SIMON, Herbert Alexander. *Administrative Behaviour*. 4th edition. New York: The Free Press, 1997. ISBN 0-684-83582-7.

ŠTULPA, Miloslav. *CNC. Programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.

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

Obrázky:

Veškeré obrázky převzaty z cenových nabídek jednotlivých dodavatelů, které byly interně zaslány firmě Dřevěné konstrukce s.r.o.

Obrázek 1 – *FELDER Group CZ s.r.o.*, 2023.

Obrázek 2 – *Epimex dřevostroje s.r.o.*, 2023.

Obrázek 3 – *HOUFEK a.s.*, 2023.

Obrázek 4 – *PILART stroje a.s.*, 2023.

Obrázek 5 – *STM s.r.o.*, 2023.

8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a vzorců

8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 – FORMAT 4 profit H500R 16.56 S.....	31
Obrázek 2 – HOMAG Centateq P-310	32
Obrázek 3 – FENIX H26	33
Obrázek 4 – HOLZ-HER EPICON 7335	34
Obrázek 5 – morbidelli m600	35

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Kritérium Celkový dojem a zkušenosti s dodavatelem	35
Tabulka 2 – Kriteriaální matice	36
Tabulka 3 – Výpočet vah kritérií pomocí Saatyho metody	36
Tabulka 4 – Přehled vypočtených vah kritérií	37
Tabulka 5 – Normalizovaná kriteriaální matice R.....	38
Tabulka 6 – Normalizovaná vážená kriteriaální matice W	38
Tabulka 7 – Ideální varianta H a bazální varianta D	39
Tabulka 8 – Vzdálenost variant od ideální a bazální varianty	39
Tabulka 9 – Výpočet relativních ukazatelů vzdáleností variant od bazální varianty	40

8.3 Seznam grafů

Graf 1 – Sloupcový graf vah kritérií.....	37
Graf 2 – Velikosti relativních vzdáleností od bazální varianty	40

8.4 Seznam vzorců

Vzorec 1 – Kriteriaální matice.....	17
Vzorec 2 – Metoda pořadí	20
Vzorec 3 – Počet srovnání	21
Vzorec 4 – Fullerův trojúhelník.....	21
Vzorec 5 – Saatyho matice	22
Vzorec 6 – Index konzistence	22
Vzorec 7 – Geometrický průměr	22
Vzorec 8 – Dílčí užitek varianty pro maximalizační kritéria.....	23
Vzorec 9 – Dílčí užitek varianty pro minimalizační kritéria	23
Vzorec 10 – Celkový užitek varianty	24
Vzorec 11 – Metoda TOPSIS – transformace kriteriaálních hodnot.....	25
Vzorec 12 – Metoda TOPSIS – vážená kriteriaální matice.....	25
Vzorec 13 – Metoda TOPSIS – ideální a bazální varianta	25

Vzorec 14 – Metoda TOPSIS – vzdálenost od ideální varianty	25
Vzorec 15 – Metoda TOPSIS – vzdálenost od bazální varianty.....	26
Vzorec 16 – Metoda TOPSIS – ukazatel relativní vzdálenosti variant od bazální varianty	26