

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY PODNIKU



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Výběr dodavatele s pomocí vícekriteriálního rozhodování
Choosing a corporate supplier using multi-criteria decision making

Autor: Daniel Kodýdek
Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství
Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Kavan, CSc.

Praha 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kodýdek** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **460006**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Teoretický základ strojínského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Výběr dodavatele s pomocí vícekritériálního rozhodování

Název bakalářské práce anglicky:

Choosing a corporate supplier using multi-criteria decision making

Pokyny pro vypracování:

I. Úvod - cíl BP. II. Charakteristika problematiky, III. Analýza, IV. Řešení s pomocí MS Excel, V. Praktické návrhy a doporučení, VI. Závěr. Část teoretická a část praktická s využitím MS Excel pro obecné řešení metodou Pattern.

Seznam doporučené literatury:

Kavan, M., Výrobní a provozní management Grada 2002, ISBN 80247019895.
Liker, J., K., Tak to dělá Toyota, Management Press, 2007, ISBN 8072611737.
Stevenson, W., J., Production and Operations Management, Irwin/McGraw-Hill 2007, ISBN-13: 978-0073661124.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

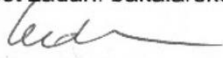
doc. Ing. Michal Kavan, CSc., ústav řízení a ekonomiky podniku FS

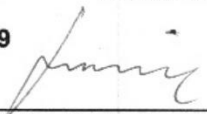
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **10.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **03.08.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **28.02.2019**


doc. Ing. Michal Kavan, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

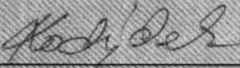

prof. Ing. František Freiberg, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

30.4.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

Ve Strakonících dne:

.....

Daniel Kodýdek

Anotace

Předmětem řešení bakalářské práce bylo vytvoření výpočetního modelu v programu MS Excel pro řešení obecného vícekriteriálního problému metodou Pattern, představení jeho funkcí, ukázka možného využití při výběru dodavatele průmyslových robotů a vznesení praktických návrhů a doporučení při řešení obdobných rozhodovacích problémů. V jednotlivých kapitolách je představen konkrétní rozhodovací problém podniku, jsou navrženy alternativy řešení a samotný výpočetní model. V závěru byly předloženy návrhy a doporučení.

Klíčová slova

Vícekriteriální rozhodování, metoda Pattern, výběr dodavatele, výpočetní model, MS Excel

Annotation

The bachelor thesis's subject matter was the making of model of computation in MS Excel for solution of general multi-criteria decision problem using the Pattern method, presentation of its functions, demonstration of possible application in choosing an industrial robot corporate supplier and making practical suggestions and recommendations for analogous decision problem solving. The constituent chapters introduce the decision problem of a company, bring forward the solution alternatives and the model of computation itself. The thesis concludes with putting forward suggestions and recommendations.

Key words

Multi-criteria decision making, Pattern method, corporate supplier choosing, model of computation, MS Excel

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Váženému doc. Ing. Michalu Kavanovi, CSc., za jeho přívětivost, cenné rady a odborné vedení. Děkuji také své rodině za neutuchající podporu ve studiu, i mimo něj.

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Charakteristika problematiky.....	9
2.1. Představení společnosti	9
2.2. Předmět řešení na pracovišti vstřikoliso vna plastů	10
2.3. Aplikace průmyslových robotů pro vstřikování plastů	12
2.3.1. Lineární (Kartézské) roboty	12
2.3.2. Kloubové roboty	13
2.3.3. Základní technické parametry průmyslových robotů.....	14
3. Analýza problematiky.....	16
3.1. Rozdělení kritérií.....	16
3.2. Vícekriteriální hodnocení variant.....	16
3.2.1. Označení pojmů a proměnných.....	17
3.2.2. Metody stanovení významnosti kritérií.....	17
3.2.2.1 Metoda pořadí	17
3.2.2.2 Metoda známkování (bodovací metoda).....	18
3.2.2.3 Metoda porovnání v trojúhelníku párů (Fullerova metoda).....	19
3.2.2.4 Metoda kvantitativního porovnání v trojúhelníku párů	21
3.2.3. Kendallův koeficient shody expertů.....	23
3.2.4. Metody stanovení významnosti variant	23
3.2.2.5 Metoda pořadové funkce	24
3.2.2.6 Vážená bodovací metoda	24
3.2.2.7 Metoda PATTERN, metoda bá zická	25
Kvantifikace kvalitativních kritérií	27
4. Řešení.....	29
4.1. Identifikace důležitých kritérií a použitelných variant.....	29
4.1.1. Výběr kritérií.....	29
4.1.2. Výběr variant.....	30
4.2. Popis modelu v prostředí programu MS Excel	32
4.2.1. Zadání vstupních hodnot.....	32
4.2.2. Stanovení vah kritérií Fullerovou metodou.....	33
4.2.3. Tabulka významnosti variant metody PATTERN	37
5. Praktické návrhy a doporučení	40
6. Závěr	42

7. Seznam použité literatury	43
8. Seznam obrázků.....	48
9. Seznam tabulek.....	48
10. Přílohy	49

1. Úvod

S rozhodováním se setkáváme každodenně. Učinění správných rozhodnutí je nezbytným předpokladem pro prosperitu každého z nás. Samotné rozhodování je jedním z elementárních činností manažerů a má přímý dopad na chod a výsledky podniku.

Ne vždy je rozhodování snadnou záležitostí, zvláště pokud se lze rozhodovat mezi vícero alternativami s mnoha měřitelnými nebo neměřitelnými parametry. Právě pro tyto problémy lze využít metod vícekriteriálního rozhodování, které dané alternativy s parametry kvantifikuje a poskytne potřebná data pro výslednou volbu.

Bakalářská práce si klade za cíl vytvoření funkčního výpočetního modelu v prostředí programu MS Excel pro řešení obecného rozhodovacího problému metodou Pattern, představení jeho funkcí, ukázkou možného využití při výběru dodavatele průmyslových robotů a vznesení praktických návrhů a doporučení při řešení obdobných rozhodovacích problémů. Model bude moci sloužit společnosti jako pomůcka při rozhodovacích problémech.

Práce v druhé kapitole představuje společnost, charakterizuje její konkrétní problém a stručně popisuje průmyslové roboty pro vstřikování plastů.

Ve třetí kapitole je provedena analýza problematiky vícekriteriálního hodnocení variant. Kapitola slouží jako podklad pro teoretické alternativy řešení rozhodovacího problému společnosti.

Čtvrtá kapitola se věnuje popisu zvoleného řešení, a sice výpočtového modelu metodou Pattern a stručně představuje jeho funkce. Je zde provedena ukázkou výběru konkrétního typu robota, kde byla identifikována podstatná kritéria a představeny použitelné varianty.

Pátá kapitola vznáší praktické návrhy a doporučení pro řešení analogických rozhodovacích problémů.

2. Charakteristika problematiky

2.1. Představení společnosti

LINET spol. s r.o. je předním evropským výrobcem nemocničních a pečovatelských lůžek se sídlem v Želevčicích u Slaného, kde svůj závod provozuje již od založení v roce 1990. Portfolio firmy zahrnuje především několik řad lůžek určených pro intenzivní i běžnou lůžkovou péči, speciální lůžka pro domovy seniorů a léčebny dlouhodobě nemocných. Nabídka dále obsahuje širokou škálu příslušenství jakožto zdravotnický nábytek, mobiliáře, antidekubitní matrace atd. [1]



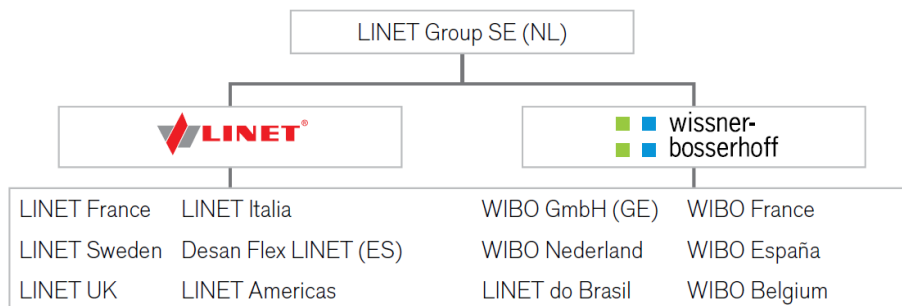
Obrázek 1 – Logo společnosti LINET spol. s r.o. [2]

V oblasti výroby zdravotnických lůžek si společnost LINET již dlouhodobě drží pozici technologického lídra. Na vývoji produktů intenzivně spolupracuje se zdravotníky a předními odborníky nejrůznějších vědních oborů, což firmě umožňuje sledovat nové trendy v oblasti lékařské péče. Výrobní závod v Želevčicích ročně vyrobí okolo 50 tisíc lůžek, přičemž naprostá většina produkce je určena na export do více než stovky zemí po celém světě. Vývoz v účetním období 2016/2017 představoval 88 % celkového čistého obrátu za toho období (3 132 629 tisíc Kč). [3] [4]

Společnost k 31.3.2017 hlásila 794 kmenových zaměstnanců s průměrným věkem 38 let. Zastoupení žen tvořilo 32 % všech zaměstnanců. [4]

Za zmínku stojí působení společnosti v oblasti charity (každoroční obdarování nemocnic a hospiců zdravotnickými lůžky, zapojení do aktuálních dobročinných sbírek Člověk v tísni, Dobrý anděl a Konto bariéry), v podpoře vzdělávání (vlastní vzdělávací středisko a organizace vzdělávacích kurzů atp.) a spolupráce se studenty (trainee a mentoring programy). [1]

Od roku 2011 je LINET spol. s r.o. součástí nadnárodního holdingu LINET Group SE se sídlem v Nizozemí, jehož další součástí je i společnost Wissner-Bosserhoff GmbH. [1]



Obrázek 2 – Struktura nadnárodního holdingu LINET Group SE [5]

LINET po vzoru automobilky Toyota zavedl výrobní proces, interně nazývaný LPS – LINET Production System, následující metodiku Lean Production k zvýšení efektivity, kvality a bezpečnosti výrobních procesů. Zahrnuje metody organizace práce jako 5S pro údržbu pracoviště, TPM pro údržbu strojů nebo Milk Run pro zefektivnění logistiky. [6]

Společnost také v současné době pokračuje s elektronizací a automatizací procesů v souladu s projektem Průmyslová revoluce 4.0, od které si slibuje zvýšení konkurenceschopnosti a úsporu lidských zdrojů. [4]

2.2. Předmět řešení na pracovišti vstřikolisovna plastů

Plastové díly menších rozměrů plnící funkci nejrůznějších krytů, vložek či úchyťů jsou vyráběny technologií vstřikování plastů ve výrobní hale – vstřikolisovně (její layout je uveden v příloze č.2). Tuto výrobu zajišťuje 6 hydraulických a 3 elektrické vstřikovací lisy, které pracují v automatickém nebo poloautomatickém režimu. V automatickém režimu jsou hotové výlisky vyjmuty vyhazovačem lisu a padají do předem připravené bedny. Při poloautomatickém režimu je zapotřebí manuální obsluhy stroje operátory, což obnáší vyjmutí výlisku, otevírání a zavírání dvířek lisu.

Součástí vstřikolisovny je i sklad forem, kde je těchto forem skladováno mezi dvěma až třemi sty. Samotnou manipulaci forem, jejich obměnu do vstřikovacích lisů a odladění chodu lisu po výměně formy mají na starost seřizovači. Seřizovači dále

nahrávají výrobní programy přenosnými médii (nejčastěji USB flash disky) do operačního systému vstřikovacího lisu s možností jejich další úpravy, připravují granulát pro vstřikování, recyklují nevyužitý materiál a odpisují práci.

Samotné výlisky nejsou po lisování ve stavu, kdy by je bylo možné použít v dalších etapách výroby. Je zde nutno odstranit nedokonalosti v podobě vtokových soustav, přestříků a otřepů ořezáním nožem nebo obroušením brusným papírem. Pro tyto činnosti je v současnosti využíváno práce operátorů, kteří zároveň na základě vizuální kontroly posoudí nutnost tohoto opracování nebo ji provedou na základě pokynů z oddělení kontroly. Společnost chce tyto operátory nahradit průmyslovými roboty v příslibu úspory lidských zdrojů a zvýšení produktivity.

Náplň práce operátorů obnáší kromě již zmíněného vyjmutí výlisků v poloautomatickém režimu lisu, vizuální kontroly a případné úpravy od otřepů, vtoků a přestříků také třídění, resp. označení levého a pravého kusu (kde je to nutné), balení a prokládání dílů do krabic. V případě sériové chybovosti výrobků má operátor povinnost informovat o tomto problému přítomného seřizovače. Právě všechny tyto činnosti by měl být schopen průmyslový robot po automatizaci plně nahradit. Společnost však v současné době neví, kterého dodavatele si vybrat a nemá poskytnuty konkrétní nabídky, ani údaje o konkrétních použitelných robotech.

Shrnutí potřebných činností průmyslového robota pro automatizaci ve společnosti LINET:

- Obsluha vstřikovacího lisu – vyjmutí výlisku a obsluha dvířek, manipulace výlisku
- Vizuální kontrola výlisku, jeho třídění dle orientace (levý/pravý), možnosti evidence
- Opracování výlisku – zbavení se otřepů, vtoků a přestříků, resp. vložení výlisku do zařízení k opracování určenému
- Balení a prokládání výlisků do beden

2.3. Aplikace průmyslových robotů pro vstřikování plastů

Průmyslové roboty jsou v procesech spojených se vstřikováním plastů používány stále častěji. Ačkoliv se dříve používali pro zajištění primárních operací, tj. obsluhy lisu a manipulace vylisku, je už dnes téměř samozřejmostí jejich použití pro druhotné operace, jakožto opracování dílu, jeho kontrola, balení aj. Zavedení robotů do výroby přispívá ke zvýšení produktivity, efektivnosti, kvality a flexibility výroby. Velmi důležitým efektem je úspora lidských zdrojů. Všechny tyto důsledky se následně projeví na zvýšení konkurenceschopnosti podniku. [7]

Ve většině případů se pro vstřikování plastů používají dva typy robotů:

2.3.1. Lineární (Kartézské) roboty

Lineární roboty mají 3 stupně volnosti souhlasné s kartézským souřadným systémem. Jsou určeny především pro rychlou, jednoduchou manipulaci vylisku. S rostoucími požadavky na zvládnutí druhotných operací a náročnějších manipulací vylisku se jejich podíl v aplikacích snižuje. [8] [9]



Obrázek 3 – Příklad lineárního průmyslového robota [10]

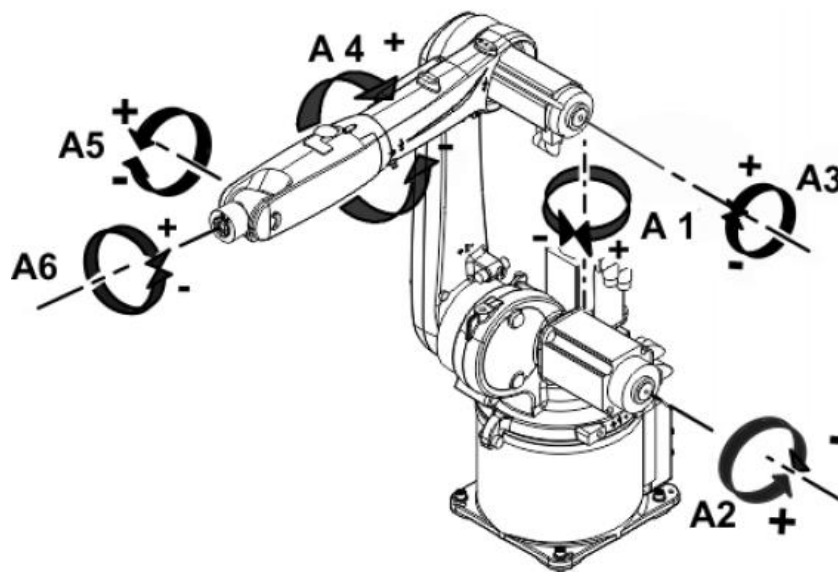
2.3.2. Kloubové roboty

Kloubové roboty jsou v současné době nejčastějšími průmyslovými roboty na trhu. Poskytují největší univerzálnost, která vyplývá z možnosti přiřazení vyššího počtu stupňů volnosti (os) než u ostatních typů. Na rozdíl od lineárních tříosých robotů dokáží kromě primární činnosti (obsluha vstřikovacího lisu) provádět druhotné operace jako zbavení vylisku otřepů atd. [11] [12] [13]

Literatura [7] uvádí tyto možnosti aplikace kloubového robota pro oblast vstřikování plastů:

- Vyjmutí plastových vylisků ze vstřikovacího lisu
- Odstranění vtoků a nálitků z vylisků
- Rozdělení vylisků do rozdílných beden
- Balení vylisků do beden
- Umístění vycpávek/podložek do vrstev uvnitř krabice (prokládání)
- Kontrola, za užití vizuálního systému, a separace zmetkových výrobků
- Potisk/označení vylisků a beden
- Montáž využitím zapadacích částí (snap-fit)
- Svařování
- Zastřikování (Overmoulding)
- Vícekomponentní vstřikování

Výpis aplikací obsahuje všechny potřebné činnosti, které by měl robot pro potřeby v podniku vykonávat (viz kap. 2.2.). Lze tedy předpokládat že kloubový robot bude vhodně zvoleným typem a následující části práce se k němu budou přímo vztahovat.



Obrázek 4 – Schématické zobrazení robotu a jeho os (A1-A6) [14]

2.3.3. Základní technické parametry průmyslových robotů

Pro technické specifikace robotů slouží nejčastěji tyto parametry:

- Počet stupňů volnosti (počet os)
- Nosnost
- Maximální dosah
- Pracovní prostor
- Rychlost
- Přesnost polohy
- Opakovatelnost polohy

Definice jednotlivých pojmů v oblasti průmyslové robotiky jsou následující:

Stupně volnosti (osy) jsou lineární nebo rotační směry pohybu robotu. [15]

Nosnost udává maximální hodnotu zatížení, do kterého se započítává nejen samotná hmotnost přenášené součásti, ale i hmotnosti koncových efektorů (tj. chytač, svařovací pistole, stříkací pistole apod.). Je nejčastěji udávána v kilogramech. [16]

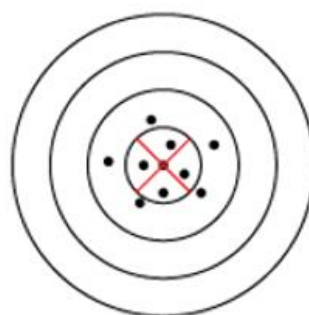
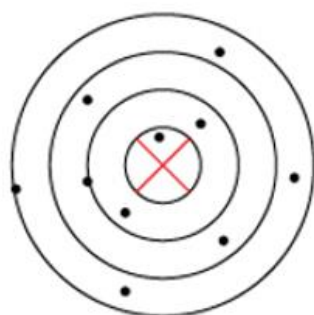
Maximální dosah se rozlišuje podle orientace na vertikální a horizontální. Udává vzdálenost od nejnižšího bodu robota po maximální vzdálenost dosahu koncového bodu zápěstí. Nejčastěji je udáván v metrech. [16]

Pracovní prostor (obálka) je prostor, který může být dosažen koncovým bodem zápěstí robota. [15]

Rychlost je změna polohy (umístění a orientace v prostoru) po dráze za jednotku času. [15] Je obvykle udávána ve stupních za sekundu. [16]

Přesnost polohy vyjadřuje odchylku mezi zadanou polohou a středem dosažených poloh. [15]

Opakovatelnost polohy je míra shody mezi dosaženými polohami. [15] Čím větší je opakovatelnost, tím menší je hodnota odchylek od určených pozic. [17]



Špatná přesnost i opakovatelnost Dobrá přesnost, špatná opakovatelnost



Špatná přesnost, dobrá opakovatelnost Dobrá přesnost i opakovatelnost

Obrázek 5 – Grafické zobrazení přesnosti a opakovatelnosti [18]

3. Analýza problematiky

Tato kapitola analyzuje problematiku vícekriteriální hodnocení variant a předkládá možné alternativy pro řešení konkrétního rozhodovacího problému podniku.

3.1. Rozdělení kritérií

Kritéria můžeme dělit podle několika hledisek. Pro naše účely postačí dvě, a sice rozdělení dle:

A) Kvantifikovatelnosti:

- 1) **Kvantitativní (objektivní) kritéria** – lze jim explicitně přiřadit číselnou hodnotu; jsou objektivně měřitelná, tudíž objektivně hodnotitelná [19] [20]
- 2) **Kvalitativní (subjektivní) kritéria** – pro přiřazení hodnot je zapotřebí převod subjektivního (většinou slovního) ohodnocení jednotlivých expertů na ohodnocení bodové nebo pořadové; vnáší do rozhodování vlastní preference rozhodovatelů [19] [20]

B) Žádoucí tendence kritéria:

- 1) **Maximalizační (výnosová) kritéria** – žádoucí tendence je rostoucí, nejlepší hodnoty jsou největší [19] [21]
- 2) **Minimalizační (nákladová) kritéria** – žádoucí tendence je klesající, nejlepší hodnoty jsou nejmenší [19] [21]

3.2. Vícekriteriální hodnocení variant

Metody vícekriteriálního hodnocení variant lze dle literatury [21] rozdělit do dvou skupin (metody stanovení významnosti kritérií a metody stanovení významnosti variant) a popsat následovně dle [19]:

3.2.1. Označení pojmů a proměnných

m ... počet kritérií

K_i ... kritéria ($i = 1, 2, \dots, m$)

n ... počet variant

A_j ... varianty; alternativy ($j = 1, 2, \dots, n$)

q ... počet expertů (rozhodovatelů)

E_e ... experti ($e = 1, 2, \dots, q$)

b_{ie} ... body (váhy) přiřazené i -tému kritériu e -tým expertem

w_{ie} ... normovaná váha i -tého kritéria podle e -tého experta

w_i ... výsledná váha i -tého kritéria

V_j ... významnosti jednotlivých variant, alternativně značeny jako funkce
užitku u_j nebo jako funkce preference P_j variant

3.2.2. Metody stanovení významnosti kritérií

Umožňují rozlišit důležitosti (váhy) hledisek hodnocení přiřazením číselných hodnot. Ty jsou poté vstupem pro stanovení významnosti variant. [21]

Mezi základní metody patří:

3.2.2.1 Metoda pořadí

Podstatou metody je přiřazení jednoznačného pořadí $r_{ie} = 1, 2, \dots, m$ každému kritériu dle jejich, experty posuzované, významnosti. Kritéria K_i ($i = 1, 2, \dots, m$) jsou poté podle pořadí seřazena od nejvýznamnějšího k nejméně významnému. [19]

Váhy lze kritériím přiřadit dvěma způsoby:

a) Pro jednotlivá pořadí $r_{ie} = 1, 2, \dots, m$ se přiřadí body (váhy) b_i jako:

$$b_{ie} = m, m - 1, \dots, 1$$

Pro normované váhy kritérií K_i s body b_{ik} dle e -tého experta pak platí [19]:

$$w_{ie} = \frac{b_{ie}}{\sum_{i=1}^m b_{ie}} = \frac{b_{ie}}{1 + 2 + \dots + m} = \frac{b_{ie}}{\frac{m \cdot (m + 1)}{2}}; i = 1, 2, \dots, m; e = 1, 2, \dots, q \quad (1)$$

Hodnoty výsledných vah kritérií K_i se určí dle:

$$w_i = \frac{\sum_{e=1}^q w_{ie}}{q} = \frac{\sum_{i=1}^m b_{ie}}{q \cdot \frac{m \cdot (m + 1)}{2}}; i = 1, 2, \dots, m; e = 1, 2, \dots, q \quad (2)$$

b) Pro jednotlivá pořadí $r_{ie} = 1, 2, \dots, m$ se přiřadí body b_{ie} jako [21]:

$$b_{ie} = r_{ie} = 1, 2, \dots, m$$

Pro normované váhy kritérií K_i s body b_{ik} dle e -tého experta ($e = 1, 2, \dots, q$) pak platí:

$$w_{ie} = 1 - \frac{b_{ie}}{\sum_{i=1}^m b_{ie}} = 1 - \frac{b_{ie}}{1 + 2 + \dots + m} = 1 - \frac{b_{ie}}{\frac{m \cdot (m + 1)}{2}}; i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Hodnoty výsledných vah kritérií K_i se určí dle [22]:

$$w_i = 1 - \frac{\sum_{e=1}^q w_{ie}}{q} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m b_{ie}}{q \cdot \frac{m \cdot (m + 1)}{2}}; i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

Metoda pořadí je velmi rychlá a jednoduchá, často užívaná pro malý počet kritérií. Při volbě pořadí kritérií neuvažuje jejich možné rozdíly ve významnosti, tudíž je vhodná jen pro jednoduché rozhodovací problémy. [23] [24]

3.2.2.2 Metoda známkování (bodovací metoda)

Metoda spočívá v expertním bodovém ohodnocení b_{ik} daného kritéria K_i ($i = 1, 2, \dots, m$) na základě vhodně zvolené bodovací stupnice. Bodovací stupnice je omezena v určitém intervalu (např. 0 až 10). Vyšší hodnota je přitom přiřazena kritériu, které je podle experta významnější. Expert může volit necelá čísla a stejnou hodnotu přiřadit více kritériím. [21] [24]

Váha i -tého kritéria podle e -tého experta se určí jako [22]:

$$w_{ie} = \frac{b_{ie}}{\sum_{i=1}^m b_{ie}}; i = 1, 2, \dots, m; e = 1, 2, \dots, q \quad (5)$$

Výsledná váha i -tého kritéria je potom rovna [22]:

$$w_i = \frac{\sum_{e=1}^q w_{ie}}{q}; i = 1, 2, \dots, m; e = 1, 2, \dots, q \quad (6)$$

Metoda je na rozdíl od metody pořadí vhodná i pro větší počet kritérií. Lépe také rozlišuje rozdíly ve významnosti. [24] Nevýhodou metody je značná subjektivita, plynoucí z přímého stanovení bodů danými experty. Z toho plyne možné riziko nepříznivého ovlivnění rozhodnutí v případě vyhraněných preferencí nebo neznalosti problematiky. [25]

3.2.2.3 Metoda porovnání v trojúhelníku párů (Fullerova metoda)

Princip metody spočívá ve vytvoření trojúhelníkové tabulky párů (Fullerova trojúhelníku) ze soustavy pevně očíslovaných kritérií $K_i (i = 1, 2, \dots, m)$, která obsahuje $k = \binom{m}{2} = \frac{m \cdot (m-1)}{2}$ kombinací kritérií (párů). Úkolem expertů je v jednotlivých párech vybrat a označit významnější kritérium. V případě neschopnosti porovnání kritérií nebo považování obou kritérií za stejně významná, označí expert obě kritéria. Jednotlivým kritériím je v trojúhelníku přiřazen bod za každý počet jim příslušných označení. V případě označení obou kritérií v rámci páru, každé obdrží pouze půl bodu.

Následující obrázky ilustrují podobu Fullerova trojúhelníku a jeho reálné použití.

1	1	1	...	1
2	3	4	...	n
	2	2	...	2
	3	4	...	n
			...	
		$n-2$	$n-2$	
		$n-1$	n	
				$n-1$
				n

Obrázek 6 – Schéma trojúhelníku párů [19]

Kritéria (i)				Počet kroužků (bodů b _i)	Pořadí kritérií
(1)	1	(1)	1	2	3.
2	(3)	4	(5)		
	2	(2)	2	1	4.
	(3)	4	(5)		
		(3)	3	3	2.
		4	(5)		
			4	0	5.
			(5)	4	1.
			k = Σ	10	

Obrázek 7 – Příklad použití trojúhelníku párů – zpracováno dle [21]

Váhu i-tého kritéria podle e-tého experta určíme jako [22]:

$$w_{ie} = \frac{b_{ie}}{\sum_{i=1}^m b_{ie}} = \frac{b_{ie}}{k} = \frac{b_{ie}}{\frac{m \cdot (m-1)}{2}}; i = 1, 2, \dots, m; e = 1, 2, \dots, q \quad (7)$$

Výsledná váha i-tého kritéria odpovídá [22]:

$$w_i = \frac{\sum_{e=1}^q w_{ie}}{q}; i = 1, 2, \dots, m; e = 1, 2, \dots, q \quad (8)$$

Významnou předností metody je možnost neuvažovat o váze (bodech, pořadí) kritéria ve vztahu ke všem ostatním kritériím, ale pouze v jednotlivých párech. To zdatelně usnadňuje rozhodování a objektivizuje stanovení výsledných vah kritérií. [21] Metoda je vhodná i pro rozhodovací problémy s velkým počtem kritérií. [24]

Nevýhodou může být větší časová náročnost a neschopnost rozlišení možných rozdílů ve velikosti preferencí kritérií v rámci párů. [26]

Dalším nedostatkem může být nulový počet preferencí (bodů) u kritéria, které nemusíme vždy považovat za zcela bezvýznamné. Zde lze uplatnit korekci zvýšením počtu bodů všem kritériím o 1 [19]:

$$w_{ie} = \frac{0}{\sum_{i=1}^m b_{ie}} \rightarrow w'_{ie} = \frac{1}{m + \sum_{i=1}^m b_{ie}} = \frac{1}{m + \frac{m \cdot (m-1)}{2}} = \frac{1}{\frac{m \cdot (m+1)}{2}} \quad (9)$$

Tím se však dopustíme snížení normovaných vah ostatních kritérií, z důvodu zvýšení hodnoty jmenovatele o m . [27] Navíc je vidět, že s rostoucím počtem kritérií

se efekt korekce snižuje. Expert se tedy musí rozhodnout, zda kritérium zcela vypustí (ponechá jeho váhu nulovou) nebo korekci provede.

3.2.2.4 Metoda kvantitativního porovnání v trojúhelníku párů

Také nazývána jako Saatyho metoda nebo AHP – Analytic Hierarchy Process. Metoda rozšiřuje metodu porovnání v trojúhelníku párů, kdy expert kromě výběru samotného kritéria určuje pro každou dvojici kritérií také velikost preference. [19]

Velikost preference se určí dle:

Tabulka 1 – Bodová tabulka pro vyjádření velikosti preference kritéria [19]

Vyjádření preferencí	
Číselné	Slovní
1	Kritéria jsou stejně významná
3	První kritérium je slabě významnější než druhé
5	První kritérium je silně významnější než druhé
7	První kritérium je velmi silně významnější než druhé
9	První kritérium je absolutně významnější než druhé
2,4,6,8	Mohou být využity pro citlivější vyjádření

Velikosti preferencí můžeme uspořádat do tzv. Saatyho matice S , jejíž prvky s_{xy} vyjadřují odhady podílů mezi kritérii [24]:

$$s_{xy} \approx \frac{w_x}{w_y}; x, y = 1, 2, \dots, m$$

Matice je čtvercová, reciproční matice $m \times m$ a pro její prvky platí:

$$s_{xy} = \frac{1}{s_{yx}}; x, y = 1, 2, \dots, m$$

Před výpočtem samotných vah kritérií w_i je však potřeba určit konzistentnost matice, tedy konzistentnost hodnocení daných expertů. Udává se poměrem konzistence (Consistency Ratio) CR jako [28]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \leq 0,1 \quad (10)$$

kde CI ... index konzistence (Consistency Index)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (11)$$

λ_{max} ... největší hodnota vlastního čísla matice S ; m ... počet kritérií

a

RI ... náhodný index konzistence (Random Consistency Index), který je roven průměrné hodnotě CI náhodně vygenerovaných recipročních matic o dimenzi m . [28]

Hodnoty λ_{max} a RI se dají prakticky považovat za tabulkové hodnoty, ze kterých lze stanovit maximální dovolené λ_{max_D} pro dané m a podmínku $CR \leq 0,1$, jako v literatuře [29]:

$$\lambda_{max} < \lambda_{max_D} \approx 0,1 \cdot (1,7699 \cdot m - 4,3513) \quad (12)$$

Tabulka 2 – Maximální dovolená hodnota vlastního čísla Saatyho matice S v závislosti na počtu kritérií m [29]

m	λ_{max_D}	m	λ_{max_D}
3	3,0957	10	11,3346
4	4,2727	11	12,5116
5	5,4497	12	13,6886
6	6,6266	13	14,8656
7	7,8036	14	16,0426
8	8,9806	15	17,2196
9	10,1576		

V případě nesplnění podmínky (10) je nucen expert přehodnotit svá hodnocení. [28]

Po ověření konzistence následuje samotné stanovení výsledných vah kritérií w_i , pro které je možno využít několika postupů. Časté je využití geometrických průměrů, kdy se výsledná váha určí jako normalizovaný geometrický průměr řádků matice S dle vzorce [19]:

$$w_x = \frac{[\prod_{y=1}^m s_{xy}]^{\frac{1}{m}}}{\sum_{k=1}^m [\prod_{y=1}^m s_{ky}]^{\frac{1}{m}}} \quad (13)$$

Výhodou metody je citlivější stanovení výsledných vah kritérií díky možnosti vyjádření velikosti preference v rámci párů. Tato metoda je oproti Fullerově složitější

a časově náročnější. [27] Znatelnou nevýhodou může být nutnost splnění konzistentnosti Saatyho matice, což klade vysoké nároky na schopnosti rozhodovatelů.

3.2.3. Kendallův koeficient shody expertů

Kendallův koeficient shody W vyjadřuje míru shody mezi jednotlivými experty. Nabývá hodnot od 0 do 1, kdy hodnota $W = 1$ představuje dokonalou shodu mezi experty, zatímco hodnota $W = 0$ vyjadřuje situaci, kdy neexistuje shoda žádná. Výsledná hodnota koeficientu může sloužit jako ukazatel validity hodnocení daných expertů. [30]

Koeficient lze definovat jako [31]:

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^m \left[\sum_{e=1}^q r_{ie} - \frac{q \cdot (m+1)}{2} \right]^2}{q^2 \cdot (m^3 - m)} \quad (14)$$

Tento vzorec však platí za předpokladu, že je počet „remíz“ (tj. kritéria o stejném pořadí) relativně malý. Koeficient je tedy vhodné přepsat na [31]:

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^m \left[\sum_{e=1}^q r_{ie} \right]^2 - 3 \cdot q^2 \cdot m \cdot (m+1)^2}{q^2 \cdot (m^3 - m) - m \cdot \sum_{e=1}^q \left[\sum_{d=1}^g (t_d^3 - t_d) \right]} \quad (15)$$

kde m ... počet kritérií

q ... počet expertů

r_{ie} ... dílčí pořadí i -tého kritéria určené e -tým expertem

g ... počet skupin kritérií e -tého experta se shodným pořadím

t_d ... počet kritérií se stejným pořadím v rámci d -té skupiny e -tého experta

3.2.4. Metody stanovení významnosti variant

Tato kapitola popisuje jednoduché metody stanovení výsledných významností jednotlivých variant, které by bylo možné využít pro řešení daného rozhodovacího problému v tabulkovém editoru bez nutnosti použití složitějších numerických metod.

3.2.2.5 Metoda pořadové funkce

Postup metody lze shrnout do následujících bodů [24]:

- a) Určení pořadí hodnot variant podle jednotlivých kritérií. První v pořadí bude nejlepší hodnota v rámci kritéria.
- b) Přiřazení hodnoty pořadové funkce g_{ij} , přičemž nejmenší hodnota (tj. $g_{ij} = 1$) je přiřazena v pořadí poslední variantě v rámci kritéria. Další v pořadí lepší variantě je přiřazena hodnota $g_{ij} = 2$. Nejvýše hodnocené variantě připadá hodnota pořadové funkce $g_{ij} \leq j$ (hodnota je menší než j tehdy, pokud mají některé varianty v rámci kritéria shodné pořadí).
- c) Stanovení výsledných vah w_i jednotlivých kritérií dle vhodné metody
- d) Výpočet funkce významnosti jednotlivých variant:

$$V_j = \sum_{i=1}^m (g_{ij} \cdot w_i); i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Výsledné pořadí variant z hlediska jejich významnosti se získá seřazením, kdy na prvním místě je varianta s maximální hodnotou funkce významnosti V_j a na dalších místech varianty s klesajícími hodnotami V_j .

3.2.2.6 Vážená bodovací metoda

Postup metody lze rozdělit do následujících kroků [21]:

- a) Vytvoření bodovací tabulky, obsahující otevřené intervaly pro hodnoty jednotlivých kritérií. Dle intervalů se jednotlivým hodnotám kritérií přiřadí příslušný počet bodů b_{ij} . Minimální počet bodů odpovídá neuspokojivým hodnotám kritéria, maximální počet nejvíce progresivním hodnotám kritéria.
- b) Stanovení výsledných vah w_i jednotlivých kritérií dle vhodné metody
- c) Výpočet funkce významnosti (užitku, preference) V_j jednotlivých variant jako:

$$V_j = \sum_{i=1}^m b_{ij} \cdot w_i; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

Výsledné pořadí variant z hlediska jejich významnosti se získá seřazením, kdy na prvním místě je varianta s maximální hodnotou funkce významnosti V_j a na dalších místech varianty s klesajícími hodnotami V_j .

Metoda se především využívá pro kvalitativní kritéria. Značnou nevýhodou je, že znehodnocuje reálné hodnoty kvantitativních kritérií díky zařazení do intervalů. Další nevýhodou je závislost validity hodnocení na stanovení intervalů a kompetenci hodnotitele. [24] [32]

3.2.2.7 Metoda PATTERN, metoda bázická

Obě metody můžeme shrnout v následujících krocích:

- a) Pro vybraná kritéria (parametry) se určí dle vhodné metody jejich výsledné váhy w_i . Literatura [21] zmiňuje za preferenční metodu porovnání v trojúhelníku párů.
- b) Pro každé kritérium K_i se vypočítají indexy změny parametru I_{ij} vzhledem k základní (bázické) hodnotě parametru H_{i0} jako:

$$I_{ij} = \frac{H_{ij}}{H_{i0}} \quad (18)$$

... pro výnosová (maximalizační) kritéria

a

$$I_{ij} = \frac{H_{i0}}{H_{ij}} \quad (19)$$

... pro nákladová (minimalizační) kritéria

Kde H_{ij} ... hodnota i-tého kritéria j-té varianty

H_{i0} ... bázická (základní) hodnota i-tého kritéria

Pro metodu PATTERN se zvolí za parametry bázické varianty H_{i0} **nejhorší hodnoty** (minimum pro výnosová kritéria, maximum pro nákladová kritéria) jednotlivých kritérií. [21]

Pro bázickou metodu se za parametry bázické varianty H_{i0} zvolí **nejlepší hodnoty** kritérií.

Alternativně lze za základní hodnoty zvolit aritmetické průměry hodnot daných kritérií. [24]

Zlepšení parametru se poté projeví růstem indexu změny. [21]

- c) Výpočet vážených indexů I'_{ij} reflektujících výsledné váhy kritérií w_i jako:

$$I'_{ij} = I_{ij} \cdot w_i \quad (20)$$

- d) Výpočet funkce významnosti V_j , zde jako součet vážených indexů S_j :

$$V_j = S_j = \sum_{i=1}^m I_{ij} \quad (21)$$

Funkce významnosti V_j vyjadřuje relativní technickou úroveň, jejíž vypovídací hodnotu lze zlepšit poměrem s minimální hodnotou a vyjádřením v procentech jako:

$$V_{j\%} = \frac{V_j}{\min(V_j)} \cdot 100\% \quad (22)$$

- e) Stanovení pořadí variant dle funkce významnosti, kdy na prvním místě bude varianta s největší hodnotou V_j .

Jednotlivé hodnoty veličin lze zapsat do tabulky například následovně:

parametr	jednotky	váha (q)	1		2		3	
			A	B	B	C	C	
výkon motoru	kW	q ₁	H _{1A} I _{1A}	I' _{1A}	H _{1B} I _{1B}	I' _{1B}	H _{1C} I _{1C}	I' _{1C}
užitečné zatížení	kg	q ₂	H _{2A} I _{2A}	I' _{2A}	H _{2B} I _{2B}	I' _{2B}	H _{2C} I _{2C}	I' _{2C}
spotřeba	L/100 km	q ₃	H _{3A} I _{3A}	I' _{3A}	H _{3B} I _{3B}	I' _{3B}	H _{3C} I _{3C}	I' _{3C}
zrychlení 0-100 km/h	s	q ₄	H _{4A} I _{4A}	I' _{4A}	H _{4B} I _{4B}	I' _{4B}	H _{4C} I _{4C}	I' _{4C}
zavazadlový prostor	dm ³	q ₅	H _{5A} I _{5A}	I' _{5A}	H _{5B} I _{5B}	I' _{5B}	H _{5C} I _{5C}	I' _{5C}
hlučnost	db	q ₆	H _{6A} I _{6A}	I' _{6A}	H _{6B} I _{6B}	I' _{6B}	H _{6C} I _{6C}	I' _{6C}
exhalace	%co	q ₇	H _{7A} I _{7A}	I' _{7A}	H _{7B} I _{7B}	I' _{7B}	H _{7C} I _{7C}	I' _{7C}
celkem S _j		1,00	S _A		S _B		S _C	
relativní technická úroveň V _j %			V _A %		V _B %		V _C %	
pořadí			r _A		r _B		r _C	

Obrázek 8 – Příklad tabulky metody PATTERN – zpracováno dle [21]

Výhodou obou variant je, že bodováním nebo pořadím nezhodnocují skutečné hodnoty kritérií.

Značný problém nastává při výskytu nulové hodnoty kritéria ve jmenovateli při výpočtu indexů změn parametru I_{ij} . V tomto případě metodu nelze použít bez případné korekce všech hodnot kritéria. [19]

Obě metody jsou primárně určeny pro objektivní (kvantitativní) kritéria [24], nicméně jejich zavedení lze například realizovat následovně:

Kvantifikace kvalitativních kritérií

Kvantifikace vychází z teorie mlhavých (fuzzy) množin, kdy se převádí lingvistická vyjádření kvalitativních kritérií na číselné hodnoty pomocí bodovací tabulky, podobně jako v případě vážené bodovací metody (viz kap. 3.3.2).

Pro tento účel lze využít stupnice o různých škálách, nejčastěji se využívá sedmi- nebo jedenácti- škálová stupnice. Nutné je však podotknout, že i základní stupnice s celočíselnými hodnotami může být naprosto dostačující. [33]

Obdobný postup byl aplikován v literatuře [20] a [33] pro implementaci kvalitativních kritérií do metod PROMETHEE, ELECTRE nebo Simple Additive Weighting (tj. metoda bázická), které primárně slouží pro zpracování kritérií kvantitativních.

Jakmile je kvalitativní kritérium reprezentováno na bodovací škále, mohou být body tohoto kritéria srovnána stejným způsobem jako kritéria kvantitativní. [33]

Jednotlivé stupnice pro převod jazykových vyjádření kvalit (úrovně) na fuzzy hodnoty:

Tabulka 3 – Sedmiškálová fuzzy převodní tabulka [33]

Jazykový pojem	Fuzzy hodnota
Žádná	0,0000
Velmi nízká / velmi špatná	0,1364
Nízká / špatná	0,3333
Střední / průměrná	0,5000
Vysoká / dobrá	0,6667
Velmi vysoká / velmi dobrá	0,8636
Excelentní	1,0000

Tabulka 4 – Jedenáctiškálová fuzzy převodní tabulka [33]

Jazykový pojem	Fuzzy hodnota	Prostá hodnota
Mimořádně nízká	0,0455	0,0
Extrémně nízká	0,1364	0,1
Velmi nízká	0,2273	0,2
Nízká	0,3182	0,3
Podprůměrná	0,4091	0,4
Průměrná	0,5000	0,5
Nadprůměrná	0,5909	0,6
Vysoká	0,6818	0,7
Velmi vysoká	0,7727	0,8
Extrémně vysoká	0,8636	0,9
Mimořádně vysoká	0,9545	1,0

4. Řešení

Kapitola představuje výpočtový model, stručně popisuje jeho tvorbu, funkce a poskytuje pokyny pro jeho využívání. Názorně ukazuje jeho možné využití pro výběr dodavatele průmyslových robotů.

4.1. Identifikace důležitých kritérií a použitelných variant

4.1.1. Výběr kritérií

Pro ukázkou řešení výběru dodavatele průmyslových robotů jsem identifikoval jako důležitá následující kritéria:

Objektivní (kvantitativní) kritéria

a) Pořizovací cena

Minimalizační kritérium, které se promítá do celkové výše investice. V případě průmyslových robotů je problematické zjistit konkrétní ceny jednotlivých typů, jelikož výrobci tento údaj volně neposkytují. Dodavatele je zapotřebí oslovit a požádat o tvorbu konkrétní nabídky. Z důvodu termínů nebylo možné ceny posuzovaných robotů získat, proto jsou v modelu použité ceny pouze orientační.

b) Nosnost

Výběr vhodných variant by měl být přizpůsoben splnění požadavků minimální nutné nosnosti a tou bude hmotnost nejobemnějšího výlisku. Vyšší hodnota nosnosti však může být prospěšná při zavedení nových objemnějších výlisků, při použití nového typu chytáče apod. Jde o maximalizační kritérium.

c) Maximální dosah

Varianty by opět měly být voleny s ohledem na minimální nutný dosah, závisující na finální koncepci výroby a uskupení strojů. Vyšší hodnoty mohou umožnit širší možnosti při případných změnách výroby, je tedy kritériem maximalizačním.

d) Opakovatelnost polohy

Na rozdíl od přesnosti polohy se opakovatelnost hůře koriguje, dá se tedy pokládat za důležitější kritérium. [34] Jedná se o minimalizační kritérium.

Mezi další kvantitativní parametry může patřit: rychlost některé z os, přesnost polohy, doba záruky, doba doručení, cena nástrojů a koncových efektorů, kapacita paměti nebo hmotnost samotného robota. Některé z těchto parametrů však většina výrobců volně neuvádí.

Subjektivní (kvalitativní) kritéria

Tato kritéria by měla odrážet konkrétní preference pověřených expertů a měla by být volena v rámci domluvy. Zde uvádím příklady možných kvalitativních kritérií, použitých v literatuře [33] také při výběru průmyslového robota.

- e) Kvalita rozhraní mezi člověkem a strojem (Man-machine interface)
- f) Flexibilita v programování
- g) Úroveň servisu dodavatele – v modelu nebylo použito

Pro praxi by bylo určitě vhodné mezi kvalifikovanými experty dosáhnout obecného konsenzu ve výběru kritérií. Identifikace a přednostní vynechání nedůležitých kritérií může do značné míry zjednodušit, zpřehlednit a zrychlit samotný rozhodovací proces. Avšak opomenutí podstatného kritéria může mít velmi nepříznivý dopad.

4.1.2. Výběr variant

Jednotlivé varianty byly vybrány s ohledem na minimální potřebnou nosnost a dosah. Výběr se omezuje na kloubový typ robotů a zaměřuje na 4 přední světové výrobce (dodavatele) a sice společnosti ABB (3. v pořadí dle instalovaných robotů v roce 2015), KUKA (7. v pořadí), Yaskawa (2. v pořadí) a FANUC (1. v pořadí). [35] Všichni zmínění výrobci rozdělují kloubové roboty podle nosnosti, maximálního dosahu v horizontálním směru a průmyslového odvětví nebo technologie pro danou aplikaci. [36] [37] [38] [39]

Stanovení přesné hodnoty dosahu není možné, jelikož v současné fázi neznáme samotnou finální podobu nové výroby. Jsme však omezeni současným prostorem, hlavně vzdáleností mezi dvěma největšími lisy, která činí zhruba 3,3 metru, viz schéma vstřikolisovny – příloha č.2. Za úvahy rozdělení vzdálenosti mezi lisy na polovinu (1,65 metru) a pozicování báze robota do přibližně poloviny této rozdělené vzdálenosti

(0,825 metru) s ponecháním rezervy pro dosah stroje do útroh lisu pro vykládání vylisku, můžeme přibližnou potřebnou hodnotu dosahu stanovit na 1,3 metru.

Pro stanovení minimální potřebné nosnosti musíme určit maximální skutečnou hmotnost, kterou bude muset robot přenášet. Určíme ji z hmotnosti nejhmotnějšího plastového vylisku, který váží 0,690 kilogramu [40] a hmotnosti použitého koncového efektoru. Za empirického předpokladu, že koncový efektor váží zhruba dvojnásobek až trojnásobek neseného výrobku a toho, že plastové vylisky jsou relativně malých rozměrů, nebudeme uvažovat minimální potřebnou nosnost vyšší než 6 kilogramů. [41]

Výběr zúžíme pomocí, výrobci udávaných, kategorií souvisejících se vstřikováním plastů (injection moulding), obsluhou strojů (machine-tending), manipulací s výrobky (pick and place), opracováním výrobků (deburring), kontrolou a balením.

Výsledný seznam variant s patřičnými parametry je uveden v následující tabulce:

Tabulka 5 – Seznam variant a hodnoty kritérií [14] [42] [43] [44] [45]

Název	Cena (fikt.) [EUR]	Nosnost [kg]	Dosah (horizontální) [m]	Opakovatelnost polohy (\pm) [mm]
ABB IRB1600 - 6/1.45	28400	6	1,45	0,02
ABB IRB1600 – 10/1.45	25600	10	1,45	0,05
KUKA KR6 R1820	35000	6	1,82	0,04
KUKA KR10 R1420	29500	10	1,42	0,04
Yaskawa Motoman HP20F	36500	20	1,72	0,06
Fanuc M-10iA/10M	38000	10	1,42	0,03
Fanuc M-10iA/7L	42000	7	1,63	0,03

Při posuzování subjektivních kritérií musíme využít bodovací stupnice, kdy pro každou variantu je zapotřebí stanovit její úroveň, resp. kvalitu. Dosáhnout toho můžeme například expertním přiřazením hodnot jednotlivým variantám dle jedenáctiškálové fuzzy stupnice (viz Tabulka 6). Hlavním důvodem využití fuzzy škály je eliminace nulové hodnoty, která by způsobila nefunkčnost výpočtu významnosti variant metodou PATTERN. Subjektivnímu kritériu nakonec přiřadíme hodnotu, která je svým aritmetickým průměrem všech hodnocení expertů nejbližší hodnotě z fuzzy škály.

4.2. Popis modelu v prostředí programu MS Excel

Výpočetní model byl tvořen s cílem možnosti využití pro širší spektrum rozhodovacích problémů. Pro tento účel bylo využito tvorby maker v jazyce Virtual Basic for Applications (VBA), implementovaném v programu MS Excel.

Model je koncipován na maximum 15 kritérií a 30 variant. Pro jeho funkčnost je zapotřebí, v daném souboru MS Excel, povolení maker. CD s výpočetním programem je k dispozici jako příloha č.1. Jednotlivá makra jsou k nalezení v panelu „Vývojář“ – položce „Visual Basic“ – „Modules 1,2,3“.

4.2.1. Zadání vstupních hodnot

Zadání hodnot kritérií příslušných variant se provádí v pracovním listě „Vstupní data“. Počet kritérií a hodnotících expertů se vkládá po kliknutí na příslušná tlačítka „Zadat počet kritérií“, resp. „Zadat počet expertů“ do příslušného dialogového okna. Po zapsání počtu kritérií se spustí makro, přiřazené k tlačítku, které vepíše do řádky „Kritérium“ v tabulce vstupních hodnot jejich označení (K1, K2...) a díky podmíněnému zapisování do buněk umožní vyplnění příslušících údajů.

Samotné hodnoty se vyplňují v tabulce vstupních hodnot. Zapotřebí je vyplnit název, jednotku kritérií a z rozbalovacího seznamu vybrat charakter kritéria (MAX – maximalizační, MIN – minimalizační). Dále názvy jednotlivých variant a hodnoty kritérií jim příslušící. Díky podmíněnému zapisování do buněk se dají hodnoty doplnit pouze do sloupců, jež obsahují vepsaná označení K_, tedy jen pro dříve nastavený počet kritérií. Vyplnění je umožněno pouze pro číselné hodnoty.

Pokud bychom dodatečně chtěli pozměnit počet kritérií, lze využít tlačítek „Přidat kritérium“, resp. „Ubrat kritérium“, která zvýší, resp. sníží počet kritérií o 1.

Přiřazení hodnot kvalitativním kritériím je nutno vložit ručně z převodní fuzzy tabulky, umístěné vlevo od tabulky vstupních hodnot.

Kritérium →		K1	K2	K3	K4	K5	K6
	Název kr. →	Cena	Nosnost	Dosah (horinz.)	Opakovatelnost	M-M interface	Flexibilita prog.
	Jednotka kr. →	EUR	kg	m	mm	-	-
Varianta ↓	Název var. ↓	Charakter kr. →	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX
V1	ABB 1600 - 6/1.45		28400	6	1,45	MAX	09
V2	ABB 1600 - 10/1.45		25600	10	1,45	MIN	09
V3	KUKA KR6 R1820		35000	6	1,82	0,04	27
V4	KUKA KR10 R1420		29500	10	1,42	0,04	27
V5	Yaskawa Motoman HP20F		36500	20	1,72	0,06	0,5909
V6	Fanuc M-10iA/10M		38000	10	1,42	0,03	0,5909
V7	Fanuc M-10iA/7L		42000	7	1,63	0,03	0,5909

Obrázek 9 – Ukázka tabulky vstupních hodnot

4.2.2. Stanovení vah kritérií Fullerovou metodou

S ohledem snahy o funkčnost modelu pro relativně velký počet kritérií přicházela v úvahu Fullerova nebo Saatyho metoda.

Fullerova metoda byla zvolena pro svou relativní jednoduchost a větší přívětivost pro rozhodovatele oproti Saatyho metodě, u které se navíc musí přiřazovat body, ověřovat konzistentnost rozhodovací matice a je celkově časově náročnější.

Samotný Fullerův trojúhelník, nacházející se na listě „Porovnání v trojúhelníku párů“, je tvořen z dvojic zaškrťovacích checkboxů, kdy jednotlivé číslo představuje číslo kritéria dle předchozího vyplnění v tabulce vstupních hodnot. Pokud expert v rámci dvojice preferuje jedno z kritérií, klikne do příslušného prázdného čtvercového pole, čímž jej zaškrtně. Pokud expert považuje obě kritéria dvojice za stejně významná, zaškrtně obě pole.

Nové vygenerování trojúhelníku se provede kliknutím na tlačítko „Vygenerovat trojúhelník párů“. Tato akce vymaže všechny předchozí vyplněné hodnoty. Příklady maker pro vygenerování Fullerova trojúhelníku a funkčních trojúhelníků jsou uvedeny v příloze č.3.

Porovnání kritérií v trojúhelníku párů

<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 1
<input type="checkbox"/> 2	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6
	<input type="checkbox"/> 2	<input checked="" type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2	<input checked="" type="checkbox"/> 2
	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6
		<input type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 3
		<input checked="" type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input checked="" type="checkbox"/> 6
			<input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> 4
			<input checked="" type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6
				<input checked="" type="checkbox"/> 5
				<input type="checkbox"/> 6

VYGENEROVAT
TROJÚHELNÍK PÁRŮ

ULOŽIT VYPLNĚNÉ
HODNOTY

Obrázek 10 – Ukázka Fullerova trojúhelníku párů

Po vyplnění daného trojúhelníku expert provede uložení hodnot kliknutím na tlačítko „Uložit vyplněné hodnoty“, kdy se zároveň provede kontrola správného vyplnění trojúhelníku. Hodnoty jsou uloženy v následujícím listě „Uložení hodnot z trojúhelníku“, kam se kopírují hodnoty zjišťované z funkčních trojúhelníků, a sice číslo kritéria, počet zaškrtnutí, číslo experta, pořadí kritéria v rámci experta a počet kritérií v rámci remízy pro výpočet koeficientu W . Makro pro ukládání hodnot kopíruje hodnoty následujícího experta vždy pod předchozí údaje. Počet expertů je tedy takřka neomezený.

	A	B	C	D	E
1	Kritéria	Počet	Expert	Dílčí pořá	Počet členů v remíze -1
2	1	4	1	2	0
3	2	1	1	5	0
4	3	3	1	3	0
5	4	5	1	1	0
6	5	0	1	6	0
7	6	2	1	4	0
8	1	5	2	1	0
9	2	3	2	2,5	1
10	3	1	2	5,5	1
11	4	3	2	2,5	0
12	5	2	2	4	0
13	6	1	2	5,5	0
14	1	3	3	3	0
15	2	0	3	6	0
16	3	4	3	2	0
17	4	5	3	1	0
18	5	1	3	5	0
19	6	2	3	4	0

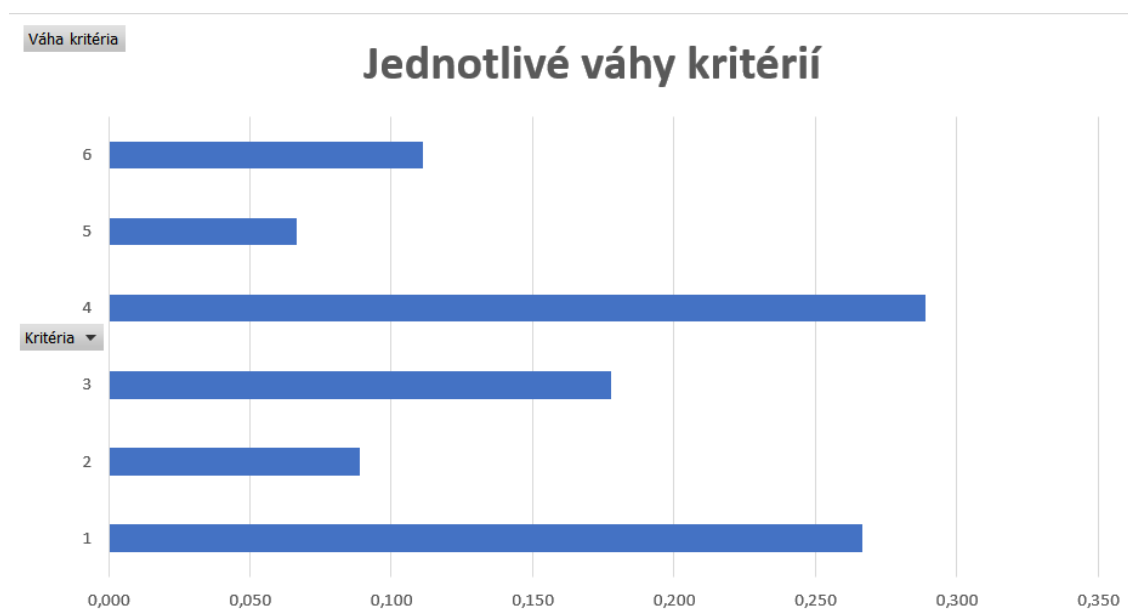
Obrázek 11 – Ukládání hodnot z Fullerova trojúhelníku

Trojúhelník se po uložení vrátí do původního stavu a k hodnocení může přistoupit následující expert.

Pokud chce daný expert pozměnit své volby již po uložení hodnot, může tlačítkem „Resetovat hodnocení posledního experta“ vymazat jemu příslušné hodnocení a vyplnit trojúhelník znovu. Tento reset není možný pro prvního experta, kdy by došlo ke ztrátě funkčnosti kontingenčních tabulek, které reprezentují výsledky jednotlivých hodnocení a vah kritérií. Pro změnu hodnocení prvního experta je zapotřebí zcela nové vygenerování trojúhelníku párů příslušným tlačítkem.

Na listě je také k dispozici údaj o počtu zadávajících a doposud vyplněných expertů. Počet zadávajících expertů se dá případně změnit přímo v listě tlačítka „Přidat experta“, resp. „Ubrat experta“.

Váhy jednotlivých kritérií lze zobrazit v kontingenčním grafu jako:



Obrázek 14 – Graf vah kritérií

4.2.3. Tabulka významnosti variant metody PATTERN

Tabulka respektuje stejný postup uvedený v kap. 3.3.3. V případě vyskytnutí nulové hodnoty kritéria by se ve výpočtech indexu růstu maximalizačních kritérií vyskytla chyba dělení nulou, a tabulka by se stala nefunkční. V případě nastání této chyby je tabulka uzpůsobena tak, aby chybu ignorovala a za základní hodnotu pokládala místo nulové, druhou nejmenší hodnotu. Nulovou hodnotu lze takto ignorovat nebo eliminovat například zvýšením všech hodnot kritéria o 1.

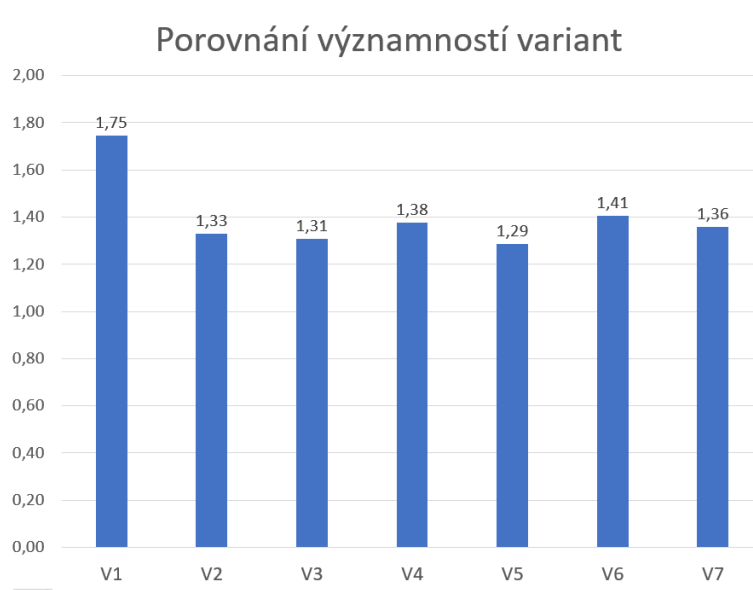
Hodnocení technické úrovně metodou PATTERN:

Kritérium (parametr)	Jednotka	Váha (q)	V1		V2		V3		V4		V5		V6		V7									
			ABB 1600 - 6/1.45	ABB 1600 - 10/1.45	KUKA KR6 R1820	KUKA KR10 R1420	Yaskawa Motoman HP20F	Fanuc M-10iA/10M	Fanuc M-10iA/7L															
K1	Cena	EUR	0,27	28400	25600	35000	29500	36500	38000	42000	1,48	0,39	1,64	0,44	1,20	0,32	1,42	0,38	1,15	0,31	1,11	0,29	1,00	0,27
K2	Nosnost	kg	0,09	6	10	6	10	20	10	7	1,00	0,09	1,67	0,15	1,00	0,09	1,67	0,15	3,33	0,30	1,67	0,15	1,17	0,10
K3	Dosah (horiz.)	m	0,18	1,45	1,45	1,82	1,42	1,72	1,42	1,63	1,02	0,18	1,02	0,18	1,28	0,23	1,00	0,18	1,21	0,22	1,00	0,18	1,15	0,20
K4	Opakovatelnost	mm	0,29	0,02	0,05	0,04	0,04	0,06	0,03	0,03	3,00	0,87	1,20	0,35	1,50	0,43	1,50	0,43	1,00	0,29	2,00	0,58	2,00	0,58
K5	M-M interface	-	0,07	0,773	0,773	0,682	0,682	0,5	0,591	0,591	1,55	0,10	1,55	0,10	1,36	0,09	1,36	0,09	1,00	0,07	1,18	0,08	1,18	0,08
K6	Flexibilita prog.	-	0,11	0,591	0,591	0,773	0,773	0,591	0,682	0,682	1,00	0,11	1,00	0,11	1,31	0,15	1,31	0,15	1,00	0,11	1,15	0,13	1,15	0,13
Celkem Sj			1,00	1,746	1,328	1,306	1,375	1,285	1,405	1,359														
Relativní technická úroveň				135,8%	103,3%	101,6%	107,0%	100,0%	109,4%	105,8%														
Pořadí				1.	5.	6.	3.	7.	2.	4.														

Obrázek 15 – Výsledná tabulka významnosti využitím metody PATTERN

Výstupem tabulky je stanovení významnosti variant, jejich relativní významnosti, v podobě relativní technické úrovně, a výsledné pořadí.

Jednotlivé porovnání významností variant lze vyjádřit ve sloupcovém grafu:



Obrázek 16 – Grafické porovnání významností variant

Výsledky lze exportovat do souboru typu .pdf na následujícím listě „Export do PDF“ kliknutím na příslušné tlačítko. Po zadání cílové složky a názvu souboru zde bude tento list uložen.

Varianta	Název varianty	Hodnota významnosti
V1	ABB 1600 - 6/1.45	1,75
V2	ABB 1600 - 10/1.45	1,33
V3	KUKA KR6 R1820	1,31
V4	KUKA KR10 R1420	1,38
V5	Yaskawa Motoman HP20F	1,29
V6	Fanuc M-10iA/10M	1,41
V7	Fanuc M-10iA/7L	1,36

EXPORTOVAT DO FORMÁTU PDF

Soubor: **Ukazka_exportu_do_PDF**
Uložit jako typ: PDF Files
Autoři: Daniel Kodydek
Značky: Přidat klíčové slovo

Uložit Zrušit

Varianta	Hodnota významnosti
V1	1,75
V2	1,33
V3	1,31
V4	1,38
V5	1,29
V6	1,41
V7	1,36

Obrázek 17 – Ukázka exportu výsledků do souboru typu .pdf

5. Praktické návrhy a doporučení

Volba expertů

Experti by měli podléhat pečlivému výběru. Předpokladem vytvoření skupiny kompetentních expertů je jejich odborná úroveň a v ideálním případě i přímý vztah jejich profese s rozhodovacím problémem a podnikem. Konkrétní znalost kontextu výroby a rozhodovacího problému (tj. jednotlivé souvislosti a procesy) se s určitostí kladně projeví při výběru vhodné varianty. Ne vždy má však podnik takové experty k dispozici, proto vidím jejich patřičnou výchovu pro budoucí rozhodovací problémy, zejména pokud se bude jednat o problémy s obdobnou podstatou, za velmi důležitou.

Konečné skupině povolaných expertů může předcházet například přednostní širší nominace, která je na základě hlasování (prvotně povolaných významných odborníků z teorie i praxe nebo sebeocení na základě kompetence) vytříděna. [21]

Volba metody pro stanovení významnosti kritérií a variant

Samotná volba pro řešení problému se může odvíjet z vícera faktorů, jako jeden z nejdůležitějších vidím čas dostupný pro řešení, kdy při jeho malém množství jen těžko budeme volit metody časově náročné. Naopak při velké časové rezervě vidím jako vhodné užití několika rozdílných metod, a porovnání jejich výsledků. Pro jejich objektivní srovnání je ale zapotřebí všem užívaným metodám bezpodmínečně porozumět. Užití širšího spektra metod může rozhodovatele utvrdit v tom, že zvolená varianta bude opravdu vhodná.

Vzájemná komunikace při řešení rozhodovacího problémů

Velkou důležitost vidím ve snaze dosahovat co největšího konsenzu mezi jednotlivými experty v průběhu celého procesu rozhodování. Každý expert by měl být pečlivě seznámen s charakteristikou problému, jeho vazeb a příčin, a se stanovenými cíli. Experti by se měli podílet na identifikaci podstatných kritérií a vhodných variant, které budou předmětem rozhodování. Vhodnou formou by mohl být brainstorming, resp. brainwriting.

Za velmi důležitou považuji také analýzu dat vystupujících z užitých modelů, seznámení expertů s výsledky a výsledné skupinové vyhodnocení, kde by bylo možné

povznést případné připomínky a poznatky před volbou výsledné varianty a její případnou implementací.

Posuzování výsledků a dopadů po implementaci varianty

U rozhodovacích problémů, jejichž výstup má výrazné dopady na procesy nebo fungování podniku, za kritické vidím měření a vyhodnocování předpokládaných přínosů a dopadů po jejich implementaci. Ať už se jednalo o rozhodnutí dobré, či špatné, tato analýza může posloužit jako podklad pro další postup a jiné budoucí rozhodovací problémy.

6. Závěr

Cílem práce bylo vytvoření funkčního výpočtového modelu pro obecné řešení rozhodovacího problému metodou Pattern, představení jeho funkcí a ukázkou jeho možného využití při výběru dodavatele průmyslových robotů a vznesení praktických návrhů a doporučení.

V kapitole 4 byla identifikována důležitá kritéria a možné varianty pro výběr průmyslového robotu, což je řešený problém společnosti. Dále byla provedena ukázkou užití modelu s popisem jeho hlavních funkcí. Model využívá Fullerovu metodu pro stanovení vah kritérií a metodu Pattern pro stanovení významnosti variant. Pro možnost posuzování subjektivních kritérií byl navržen převod slovního hodnocení přes jedenáctiškálovou fuzzy tabulku.

Detailní podoba maker a funkcí je k náhledu přiloženém souboru MS Excel, příklad podoby maker byl poskytnut jako příloha č.3. Praktické návrhy a doporučení byly uvedeny v kapitole 5.

Protože společnost v době zadání práce neměla dispozici konkrétní data od dodavatelů, nešlo model použít pro zcela konkrétní výběr nejlepší varianty. Mnou navržený model je uzpůsoben pro různorodý počet kritérií a variant, a proto společnost bude moci tento model kdykoliv využít pro pozdější rozhodování.

7. Seznam použité literatury

- [1] *Linet - O nás* [online]. Želevčice: Linet spol s r.o., 2013-2015 [cit. 2018-02-08]. Dostupné z: <http://www.linet.com/cs/o-nas/>
- [2] LINET.jpg. In: *LINET* [online]. Želevčice: LINET, 2015 [cit. 2018-02-08]. Dostupné z: www.linet.com/-/media/Images/website/logos/LINET.ashx?force=1
- [3] ČTK, . Linet možná získá nového spolumajitele. *Zprávy E15* [online]. b.r., **2017**, 1-1 [cit. 2018-02-08]. ISSN 1213-8991. Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/podniky-a-trhy/linet-mozna-ziska-noveho-spolumajitele-1341086>
- [4] *Výroční zpráva 2016/2017* [online]. In: . Praha: Ministerstvo spravedlnosti České republiky, © 2012-2015, s. 1-64 [cit. 2018-02-08]. C 163/SL77/MSPH. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=51098929&subjektId=699361&spis=90684>
- [5] *Profil společnosti LINET* [online]. 01/2013. Želevčice: LINET spol. s r.o., 2013 [cit. 2018-02-08]. 9640-1000. Dostupné z: www.linet.com/-/media/Media-Catalogue/brochures/linet_companyprofile_CZ.ashx
- [6] *Komfort*. Želevčice: LINET spol. s r.o., 2015, **2015**(02).
- [7] HYLAND, Ian. Robots used on plastic injection moulding machines. In: *Industrial Robot: An International Journal, Vol. 28* [online]. Issue 2. Bradford, UK: MCB UP Ltd, 2001, s. 104-111 [cit. 2018-02-12]. ISSN 0143-991X.
- [8] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UNECE), a INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. *World robotics*. 1st edition. New York: UN, 2005. ISBN 9211011000.
- [9] What are the main types of robots?. *Robots.com* [online]. Marion, OH: RobotWorx, 2017 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://www.robots.com/faq/show/what-are-the-main-types-of-robots>
- [10] Csm_1_viper_a74e6d4feb.jpg. In: *ENGEL* [online]. Schwertberg, Austria: ENGEL AUSTRIA GmbH, 2018 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: https://www.engelglobal.com/fileadmin/_processed_/f/e/csm_1_viper_a74e6d4feb.jpg
- [11] Articulated Robots - More Axes Equal More Possibilities. *RobotWorx* [online]. Marion, OH: RobotWorx, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/viewing/articulated-robots-more-axes-equal-more-possibilities>

- [12] How Many Axes Does Your Robot Need?. *ASME* [online]. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2017 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/robotics/many-axes-does-robot-need>
- [13] What's New with Robotics in Injection Molding?. *RIA Robotics Online* [online]. Michigan, USA: Robotic Industries Association, © 2008-2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/What-s-New-with-Robotics-in-Injection-Molding/content_id/2198
- [14] KR CYBERTECH Specifikacion. In: *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA Aktiengesellschaft, 2018 [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/48ec812b1b2947898ac2598aff70abc0/spez_kr_cybertech_nano_en.pdf
- [15] *ČSN EN ISO 8373: Manipulační průmyslové roboty - Slovník*. 1. vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [16] How to Choose the Right Industrial Robot?. *Robotiq* [online]. Lévis, Qc, Canada: Robotiq, 2014 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/70408/How-to-Choose-the-Right-Industrial-Robot>
- [17] Glossary of Robotic Terms. *Yaskawa* [online]. Miamisburg, OH: Yaskawa America, Inc., 2016 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://www.motoman.com/glossary>
- [18] Repeatability-and-accuracy-resized-600.jpg. In: *Robotiq* [online]. Lévis, Quebec, Canada: Robotiq inc. ©, 2012 [cit. 2018-06-27]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/hs-fs/hub/13401/file-13222732-jpg/images/repeatability-and-accuracy-resized-600.jpg?t=1530110310203>
- [19] FRIEBELOVÁ, Jana a Jana KLICNAROVÁ. *Rozhodovací modely pro ekonomy*. 1. vyd. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Ekonomická fakulta, 2007. ISBN 978-80-7394-035-5.
- [20] RAO, R.V., B.K. PATEL a M. PARNICHKUN. Industrial robot selection using a novel decision making method considering objective and subjective preferences. *Robotics and Autonomous Systems* [online]. 2011, **59**(6), 367-375 [cit. 2018-06-30]. DOI: 10.1016/j.robot.2011.01.005. ISSN 09218890. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921889011000121>
- [21] KAVAN, Michal. *Výrobní a provozní management*. 1. vyd. Praha: Grada, 2002. Expert (Grada). ISBN 8024701995.

- [22] KOPA, Ph.D., Vícekriteriální rozhodování. In: *MFF v Praze - Miloš Kopa* [online]. Praha: doc. RNDr. Ing. Miloš Kopa, Ph.D., 2017 [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <http://www.karlin.mff.cuni.cz/~kopa/VRfinal.pdf>
- [23] SYNEK, Miloslav, Heřman KOPKÁNĚ a Markéta KUBÁLKOVÁ. *Manažerské výpočty a ekonomická analýza*. Vyd. 1. V Praze: C.H. Beck, 2009. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7400-154-3.
- [24] ZAHRADNÍK, Jaroslav a Jan BAUER. *Základy managementu*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01413-4.
- [25] GOH, Chon-Huat, Yung-Chin TUNG a Chun-Hung CHENG. A revised weighted sum decision model for robot selection. *Computers & Industrial Engineering* [online]. 1996, **30**(2), 193-199 [cit. 2018-07-02]. DOI: 10.1016/0360-8352(95)00167-0. ISSN 03608352. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0360835295001670>
- [26] FOTR, Jiří a Lenka ŠVECOVÁ. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. 2., přeprac. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-59-0.
- [27] MRÁKA, Michal. *Metody vědomého rozhodování*. Brno, 2011. Bakalářská. Mendelova univerzita v Brně, Provozně ekonomická fakulta. Vedoucí práce Mgr. Kateřina Myšková, Ph.D.
- [28] ROSZKOWSKA, Ewa. Rank Ordering Criteria Weighting Methods – a Comparative Overview. *Optimum. Studia Ekonomiczne* [online]. 2013, **2013**(565), 14-33 [cit. 2018-07-06]. DOI: 10.15290/ose.2013.05.65.02. ISSN 15067637. Dostupné z: <http://repozytorium.uwb.edu.pl/jspui/handle/11320/2189>
- [29] ALONSO, JOSÉ a M. LAMATA. CONSISTENCY IN THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS: A NEW APPROACH. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* [online]. 2006, **14**(04), 445-459 [cit. 2018-07-06]. DOI: 10.1142/S0218488506004114. ISSN 0218-4885. Dostupné z: <http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218488506004114>
- [30] SALKIND, Neil. *Encyclopedia of research design*. 2010. Thousand Oaks, Calif.: SAGE Publications, 2010. ISBN 9781412961271.
- [31] Kendall's Coefficient of Concordance (W). *Real Statistics Using Excel* [online]. Charles Zaiontz, © 2013-2018 [cit. 2018-07-08]. Dostupné z: www.real-statistics.com/reliability/kendalls-w/
- [32] Matematické metody rozhodování. *Studentům KAE: Informační blog Katedry aplikované ekonomie Univerzity Palackého v Olomouci* [online]. Olomouc: Katedra aplikované ekonomie Univerzity Palackého v Olomouci, 2014 [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: <http://www.kae.cz/wp-content/uploads/2013/10/MMR.pdf>

- [33] R. VENKATA RAO., . *Decision making in manufacturing environment using graph theory and fuzzy multiple attribute decision making methods*. 2013. London: Springer, 2013. ISBN 9781447143758.
- [34] CHATTERJEE, Prasenjit, Vijay MANIKRAO ATHAWALEB a Shankar CHAKRABORTYA. Selection of industrial robots using compromise ranking and outranking methods. In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. Issue 5. Kidlington, Oxford, UK: Elsevier Ltd., 2018, s. 483-489. ISSN 0736-5845.
- [35] Top 14 industrial robot companies and how many robots they have around the world. *Robotics and Automation News* [online]. London, UK: Moonsoon Media, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://roboticsandautomationnews.com/2015/07/21/top-8-industrial-robot-companies-and-how-many-robots-they-have-around-the-world/812/>
- [36] Robot Selector. *ABB* [online]. ABB, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/robot-selector>
- [37] Průmyslové roboty firmy KUKA. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA Aktiengesellschaft, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty>
- [38] MOTOMAN roboty. *Yaskawa* [online]. Allershausen, Germany: YASKAWA Europe GmbH, 2013 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.motoman.cz/cs/produkty/roboty/>
- [39] Průmyslové roboty FANUC. *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o., 2018 [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty>
- [40] *Interní dokumenty společnosti LINET spol. s r.o. Želevčice*, b.r.
- [41] Introduction to Industrial Robots: What You Need to Know. *Bastian Solutions* [online]. Indianapolis, IN: Bastian Solutions, Inc., 2017 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: www.bastiansolutions.com/blog/index.php/2014/10/10/industrial-robots-introduction-need-to-know/
- [42] ABB Robotics - IRB 1600. In: *ABB* [online]. Zurich, Switzerland: ABB Asea Brown Boveri Ltd, 2018 [cit. 2018-07-04]. Dostupné z: http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10282EN_R8&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- [43] Yaskawa Motoman HP20F. In: *Yaskawa* [online]. Miamisburg, OH 45342: Yaskawa America, Inc., 2018 [cit. 2018-07-14]. Dostupné z: <https://www.motoman.com/hubfs/HP20F.pdf>
- [44] M-10iA/10M. In: *FANUC* [online]. Praha 8 - Libeň: FANUC Czech s.r.o., 2018 [cit. 2018-07-14]. Dostupné z:

<https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/robots-datasheets-en/m-10ia/datasheet%20m-10ia-10m.pdf?la=cs>

- [45] M-10iA/7L. In: *FANUC* [online]. Praha 8 - Libeň: FANUC Czech s.r.o., 2018 [cit. 2018-07-14]. Dostupné z:
<https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/robots-datasheets-en/m-10ia/datasheet%20m-10ia-7l.pdf?la=cs>

8. Seznam obrázků

Obrázek 1 – Logo společnosti LINET spol. s r.o. [2]	9
Obrázek 2 – Struktura nadnárodního holdingu LINET Group SE [5]	10
Obrázek 3 – Příklad lineárního průmyslového robota [10]	12
Obrázek 4 – Schématické zobrazení robota a jeho os (A1-A6) [14]	14
Obrázek 5 – Grafické zobrazení přesnosti a opakovatelnosti [18]	15
Obrázek 6 – Schéma trojúhelníku párů [19]	19
Obrázek 7 – Příklad použití trojúhelníku párů – zpracováno dle [21]	20
Obrázek 8 – Příklad tabulky metody PATTERN – zpracováno dle [21]	26
Obrázek 9 – Ukázka tabulky vstupních hodnot	33
Obrázek 10 – Ukázka Fullerova trojúhelníku párů	34
Obrázek 11 – Ukládání hodnot z Fullerova trojúhelníku	35
Obrázek 12 – Kontrola vyplnění všemi experty a možnost změny počtu	36
Obrázek 13 – Kontingenční tabulky vah kritérií a počtu zaškrtnutí, koeficient W	36
Obrázek 14 – Graf vah kritérií	37
Obrázek 15 – Výsledná tabulka významností využitím metody PATTERN	38
Obrázek 16 – Grafické porovnání významností variant	38
Obrázek 17 – Ukázka exportu výsledků do souboru typu .pdf	39

9. Seznam tabulek

Tabulka 1 – Bodová tabulka pro vyjádření velikosti preference kritéria [19]	21
Tabulka 2 – Maximální dovolená hodnota vlastního čísla Saatyho matice S v závislosti na počtu kritérií m [29]	22
Tabulka 3 – Sedmiškálová fuzzy převodní tabulka [33]	28
Tabulka 4 – Jedenáctiškálová fuzzy převodní tabulka [33]	28
Tabulka 5 – Seznam variant a hodnoty kritérií [14] [42] [43] [44] [45]	31

10. Přílohy

Příloha č.1 – CD

Obsah:

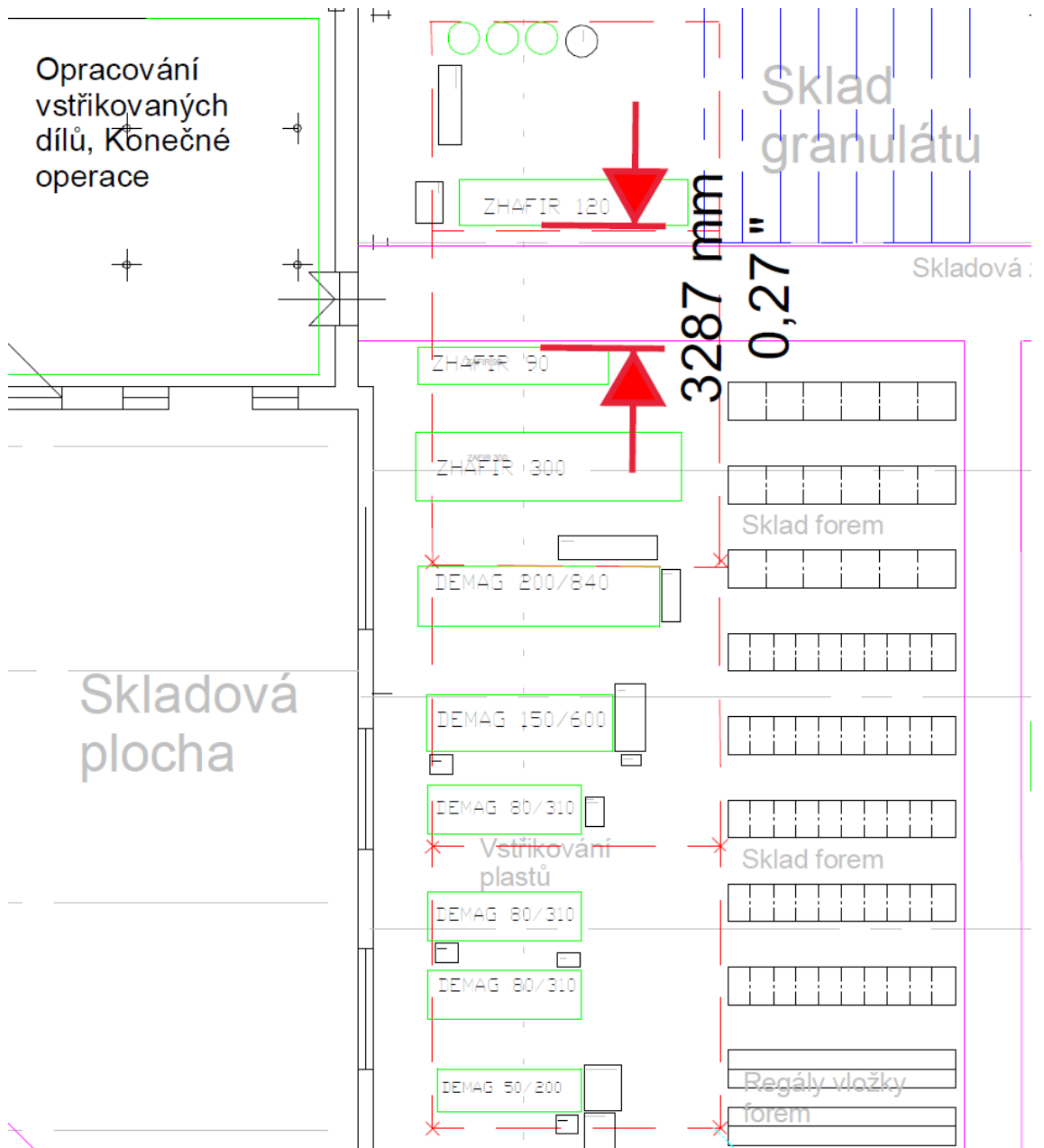
Výpočetní model

BP_Daniel_Kodýdek_Výběr_dodavatele_s_pomocí_vícekriteriálního_rozhodování.x
lsm

Bakalářská práce v souboru PDF

BP_Daniel_Kodýdek_Výběr_dodavatele_s_pomocí_vícekriteriálního_rozhodování.pdf

Příloha č.2 – Layout vstříkolisovny s označením největší vzdálenosti mezi lisy
 [40]



Příloha č.3 – Příklad maker pro vytvoření Fullerova trojúhelníku

```
Sub Generovani_matice_paru_liche()
Dim ncol, nrow, posunI, posunII, posunIII As Integer 'zavedení proměnných
ncol = Sheets("Vstupní data").Range("kriteria").Value - 1
nrow = Sheets("Vstupní data").Range("kriteria").Value - 1
posunI = 50
posunII = 2 * posunI
posunIII = 3 * posunI
ReDim c(nrow, ncol) As Integer 'zavedení proměnné pro popisek CHBX
Dim i As Integer, j As Integer
For i = 1 To nrow
  For j = 1 To ncol
    c(i, j) = i
  Next j
Next i
Sheets("Porovnání v trojúhelníku párů").Select: Range("G8").Select
For i = 1 To nrow
  For j = 1 To ncol
    Sheets("Porovnání v trojúhelníku párů").CheckBoxes.Add(ActiveCell.Left, _
        ActiveCell.Top, _
        72, 17.25).Select

    With Selection
      .Caption = c(i, j)
      .Value = xlOff
      .LinkedCell = ActiveCell.Offset(posunI, 0).Address 'tvorba prvního funkčního trojúhelníku
      .Display3DShading = False
    End With

    ActiveCell.Offset(posunII, 0).Value = c(i, j) 'tvorba druhého funkčního trojúhelníku
    ActiveCell.Offset(posunIII, 0).FormulaR1C1 = "=IF(R[-" & posunII & "]C = TRUE, R[-" & posunI & "]C, 0)"
    'tvorba třetího funkčního trojúhelníku
    ActiveCell.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlContinuous
    ActiveCell.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
    ActiveCell.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
    ActiveCell.Offset(0, 1).Select
  Next j
  ncol = ncol - 1 'ubírá počet sloupců
  ActiveCell.Offset(2, -ncol).Select 'návrát pod bunku
Next i
End Sub
```

```
Sub Generovani_matice_paru_sude()
```

```
Dim ncol, nrow, posunI, posunII, posunIII As Integer 'zavedení proměnných
```

```
ncol = Sheets("Vstupní data").Range("kriteria").Value - 1
```

```
nrow = Sheets("Vstupní data").Range("kriteria").Value - 1
```

```
posunI = 50
```

```
posunII = 2 * posunI
```

```
posunIII = 3 * posunI
```

```
ReDim d(nrow, ncol + 1) As Integer 'zavedení proměnné pro popisek CHBX
```

```
Dim k As Integer, l As Integer
```

```
For k = 1 To nrow
```

```
For l = 1 To ncol
```

```
d(k, l) = 1 + k - 1
```

```
Next l
```

```
Next k
```

```
Sheets("Porovnání v trojúhelníku párů").Select: Range("G9").Select
```

```
For k = 1 To nrow
```

```
For l = 1 To ncol
```

```
Sheets("Porovnání v trojúhelníku párů").CheckBoxes.Add(ActiveCell.Left, _  
ActiveCell.Top, _  
72, 17.25).Select
```

```
With Selection
```

```
.Caption = d(k, l) + 1
```

```
.Value = xlOff
```

```
.LinkedCell = ActiveCell.Offset(posunI, 0).Address 'tvorba prvního funkčního trojúhelníku
```

```
.Display3DShading = False
```

```
End With
```

```
ActiveCell.Offset(posunII, 0).Value = d(k, l) + 1 'tvorba druhého funkčního trojúhelníku
```

```
ActiveCell.Offset(posunIII, 0).FormulaR1C1 = "=IF(R[-" & posunII & "]C = TRUE, R[-" & posunI & "]C,  
0)"
```

```
'tvorba třetího funkčního trojúhelníku
```

```
ActiveCell.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
```

```
ActiveCell.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
```

```
ActiveCell.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
```

```
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
```

```
Next l
```

```
ncol = ncol - 1 'ubírá počet sloupců
```

```
ActiveCell.Offset(2, -ncol).Select 'návrát pod bunku
```

```
Next k
```

```
End Sub
```