

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Bakalářská práce

**Aplikace rozhodovacích modelů při nákupu
zemědělské techniky**

Pavel Tykvart

© 2014 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra systémového inženýrství

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tykvart Pavel

Veřejná správa a regionální rozvoj - k.s. Klatovy

Název práce

Aplikace rozhodovacích modelů při nákupu zemědělské techniky

Anglický název

Application of decision-making models for purchasing of agriculture machinery

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je vyřešit problém výběru nového zemědělského stroje pro fyzickou osobu podnikající v zemědělství metodami vícekriteriálního rozhodování.

Metodika

- nastudování literatury
- výběr metod vícekriteriální analýzy
- aplikace na konkrétní výběr stroje
- zhodnocení výsledků
- efektivnost rozhodnutí

Harmonogram zpracování

- 11/2012 - výběr tématu
- 12/2012 - konzultace s vedoucím práce a vybraném tématu
- 5/2013 - informační seminář o bakalářských pracích
- 5-6/2013 - odevzdání základních informací v systému Badis
- 7-8/2013 - práce s modely vícekriteriální analýzy
- 9-11/2013 - interpretace výsledků vícekriteriálního rozhodování
- 12/2013 - předložení práce vedoucímu BP
- 1/2014 - připomínky, editace práce
- 2/2014 - odevzdání dokončené práce

Rozsah textové části

30 - 40 stran

Klíčová slova

vícekriteriální rozhodování, zemědělská technika, vícekriteriální analýza variant

Doporučené zdroje informací

GROS, I. 2009. Matematické modely pro manažerské rozhodování. 1. vyd. Praha : VŠCHT Praha. ISBN 978-80-7080-709-5

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

PLAMÍNEK, J. 2008. Řešení problémů a rozhodování. První vydání. Praha : Grada, 144 s. ISBN 978-80-247-2437-9.

JABLONSKÝ, J. 2007. Operační výzkum - Kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování, Praha: Professional Publishing. 324s., ISBN 978-80-86946-44-3

Vedoucí práce

Houška Milan, doc. Ing., Ph.D.

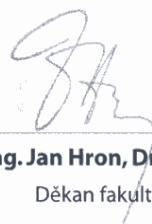
Termín odevzdání

březen 2014



doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Jan Hron, DrSc., dr. h. c.

Děkan fakulty

V Praze dne 9.10.2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Aplikace rozhodovacích modelů při nákupu zemědělské techniky" 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 literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12. března 2014

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Milanu Houškovi, Ph.D. za odbornou pomoc, veškeré cenné připomínky a vstřícnost během konzultací při vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji panu Václavu Kašparovi za ochotu a trpělivost při poskytování informací, potřebných k této práci.

Aplikace rozhodovacích modelů při nákupu zemědělské techniky

Application of decision-making models for purchasing agriculture machinery

Souhrn

Hlavním cílem této bakalářské práce je poskytnout malou ukázkou na konkrétním případě z oblasti řešení problémů pomocí postupů, které jsou využívány v manažerské praxi. Jedná se o využití metod vícekriteriální analýzy variant. S pomocí vybraných metod je v práci předloženo řešení pro výběr nového zemědělského stroje. Konkrétně se jedná o pořízení traktoru pro soukromně hospodařícího zemědělce Václava Kašpara. Celou práci je možné rozdělit na dva okruhy. První se týká teoretické přípravy, kde jsou v literární rešerši popsány základní termíny z teorie vícekriteriální analýzy variant a teoretické popisy metod, ze kterých vychází vlastní zpracování. Na úvod druhé části práce, která se týká vlastního zpracování, je uveden stručný vývoj soukromé farmy, na který navazuje volba hodnotících kritérií pro analýzu vycházejících z požadavků majitele farmy. Následně jsou uvedeny vybrané tři varianty traktorů k realizaci.

Summary

The main aim of the thesis is to provide short demonstration of problem solving by methods used in managerial practice, especially by multiple-criteria decision-making. Using selected methods the solution for selection of a new agricultural machine is presented in this work. As an example for demonstration I chose the purchase of a tractor for the private farmer Václav Kašpar. It is possible to divide the thesis into two parts. The first part deals with the theoretical preparation where basic terms of the theory of multi-criteria decision-making and description of used methods are presented. At the beginning of the second part, there is a brief description of the development of the private farm followed by the selection of evaluation criteria for analysis. The criteria take into account requirements of the owner of the farm. The use of three methods resulted in a choice of selected models of tractors recommended for implementation.

Klíčová slova: vícekriteriální analýza variant, zemědělská technika, vícekriteriální rozhodování, metody, varianta, kritérium, traktor, Saatyho matice, analytický hierarchický proces, rozhodovací modely

Keywords: multiple-criteria decision-making, agriculture technology, multiple-criteria decision-making, methods, variation, criterion, tractor, Saaty's matrix, analytic hierarchy process, decision-making models

Obsah

1. Úvod	9
2. Cíle práce a metodika	10
2.1 Cíle práce	10
2.2 Metodika práce	10
3. Literární řešerše	11
3.1 Rozhodovací procesy	11
3.2 Základní pojmy vícekritériální analýzy variant	11
3.2.1 Kritéria	12
3.2.2 Varianty	13
3.3 Metody stanovení vah kritérií	14
3.3.1 Bodovací metoda	14
3.3.2 Saatyho metoda	15
3.4 Klasifikace úloh vícekritériální analýzy variant	16
3.4.1 Metoda váženého součtu	18
3.4.2 Metoda AHP	19
3.4.3 Metoda TOPSIS	21
3.5 Vybrané aplikace vícekritériálního rozhodování	23
4. Případová studie	25
4.1 Charakteristika ekonomického subjektu	25
4.2 Požadavky na vhodnou variantu traktoru	26
4.3 Stanovení kritérií	27
4.4 Popis jednotlivých variant	28
4.5 Bodové hodnocení kritéria servis	34
4.6 Stanovení vah pomocí Saatyho metody	37
4.7 Metoda váženého součtu	38
4.8 Analytický hierarchický proces – metoda AHP	40
4.9 Metoda TOPSIS	44
5. Závěr	46
6. Seznam použitých zdrojů	48
7. Seznam tabulek, schémat a obrázků	50

1. Úvod

S problémy vícekriteriálního rozhodování se velice často setkáváme v každodenním životě a většinou málokdo z nás si uvědomí, že se jedná o takový typ úlohy. Zároveň se vůbec nemusí jednat o problém na celospolečenské úrovni, ale o běžné problémy a rozhodování, se kterými se jednotliví lidé setkávají po celý život.

Velká část lidí intuitivně cítí, že zabývat se nějakým vlastním hodnocením, které se pohybuje v matematické oblasti, je v dnešní hektické době další činností, která jen zatěžuje již tak uspěchaný život. Určitě ani matematice nakloněný člověk nebude vyhledávat metody, aby vyhodnotil, pro kterou věc denní spotřeby se má rozhodnout. Ovšem to už úplně neplatí o statcích, které jsou dlouhodobější povahy. Například u výběru počítače nebo automobilu si mnoho lidí nechává poradit od cizích, nekompetentních osob nebo dává na subjektivní pocity a nedokáže si spočítat a seřadit reálná pro a proti. A zde už je příležitost pro běžného člověka se pozastavit a popřemýšlet, zda by nenašel vhodnou možnost nebo metodu, jak se umět rozhodnout sám a dobře. Navíc umět vyhodnotit situaci se nemusí týkat jen hmotných statků, ale jsou i jiné oblasti, např. pracovní, finanční nebo investiční, kde je dobré vyhodnocení stavu věci stejně důležité.

Proces rozhodování se netýká jen osobního života, ale především se týká ekonomických subjektů, jak v soukromé tak ve státní sféře. Zde přicházejí do popředí ekonomové a manažeři, pro které by metody vícekriteriálního rozhodování měly být bližší a jejich užití by mělo být samozřejmostí. Přesto se velmi často stává, že majitelé či ekonomové malých a středních firem v obavě ze složitých analýz nebo časové náročnosti, raději rozhodují podle jediného kritéria a tím je cena, aniž by si uvědomili, že jejich rozhodnutí může firmě či subjektu přinést řadu potíží.

Tato práce by měla být zároveň malou ukázkou pro čtenáře, že hledání variant, stanovení kritérií a uplatnění metod vícekriteriální analýzy vede k výsledku a proto by metody měly být častěji využívány v praxi. Práce obsahuje teoretické popisy metod, výchozí stav, vlastní zpracování a doporučení nejvhodnější varianty pro soukromě hospodařícího zemědělce při výběru nového traktoru na svoji farmu.

2. Cíle práce a metodika

2.1 Cíle práce

Hlavním cílem této práce je aplikovat v praxi rozhodovací metody vícekriteriální analýzy variant při výběru vhodného typu nového univerzálního kolového traktoru pro soukromého zemědělce, který by měl být využíván v rostlinné i živočišné výrobě na malé farmě. Dalším cílem je vytvořit vhodný ucelený návod pro čtenáře, jak postupovat při hledání řešení obdobných problémů v budoucnosti. Problematika bude řešena pomocí několika vybraných metod z vícekriteriální analýzy. Neméně důležitým cílem práce je zužitkovat znalosti autora o dané problematice, získané během studia a aplikovat je při konkrétním výběru vhodného traktoru.

2.2 Metodika práce

Tato bakalářská práce je rozdělena na dvě základní části.

První část je zaměřena na teoretickou podobu, která obsahuje základní pojmy z vícekriteriální analýzy variant. Jsou zde podrobně popsány metody, které jsou základem pro vlastní zpracování konkrétní případové studie. V práci jsou použity metody pro stanovení vah – Saatyho metoda, metoda váženého součtu, analytický hierarchický proces – AHP a v závislosti na ověření dosaženého výsledku byla studie doplněna o poslední metodu TOPSIS. Tato část vychází pouze z odborné literatury.

V úvodu druhé části je obsažen popis subjektu, kterého se případová studie týká. Jedná se o soukromně hospodařícího rolníka Václava Kašpara a stručný popis vývoje jeho farmy. Dále jsou popsány požadavky na výběr stroje a popis navržených variant. Tyto informace vychází z osobního jednání s majitelem farmy, informace o jednotlivých typech traktorů vycházejí z konkrétních nabídek a internetových prezentací prodejců zemědělské techniky. Následující kapitoly obsahují praktické použití výše uvedených metod. Výsledkem vlastních výpočtů je nejvhodnější varianta, která byla panu Kašparovi doporučena k realizaci.

3. Literární rešerše

3.1 Rozhodovací procesy

Jak bylo již uvedeno v úvodu, proces řešení problémů a následného rozhodování je pevnou součástí lidského života. Když řešíme problémy, snažíme se většinou najít všechna přijatelná řešení. Pokud rozhodujeme, většinou vybíráme ze souboru přijatelných řešení to, které doporučíme k realizaci.

Proces by měl začínat definicí tématu nebo problému, který má být řešen. Tím nastává řada dalších kroků, než dojdeme ke konečnému řešení. Problém musí být dobře definován, nutné je pochopit souvislosti, hledat možnosti řešení a umět je vyhodnotit, vybrat řešení, které je reálné a rozhodnout, zda a jakým způsobem bude realizováno. Rozhodovací proces lze považovat jako posloupnost sedmi fází:[3]

- definice
- analýza
- generování
- třídění
- hodnocení
- rozhodování
- realizace

Rozhodování se velmi výrazně se projevuje v činnosti organizací soukromých i státních a výsledky procesů mohou ovlivnit chod a budoucí vývoj těchto organizací. Špatné, nekvalitní rozhodnutí může vést ke ztrátě a neúspěchu a naopak kvalitní řešení problému přispívá k prosperitě a efektivnímu fungování organizací.[4]

3.2 Základní pojmy vícekriteriální analýzy variant

Teorie vícekriteriální analýzy variant se zabývá problémy, jak vybrat jednu nebo více variant z množiny všech přípustných možností a tu doporučit k realizaci. Modely jsou zadány pomocí konečného seznamu variant či přípustných řešení. Obecně lze říci, že je

dána konečná množina m variant, které jsou hodnoceny podle n kritérií. Cílem je najít variantu, která je podle všech kritérií hodnocena co nejlépe. Jedná se o variantu kompromisní. Případně je možné seřadit varianty od nejlepší po nejhorší nebo vyloučit varianty neefektivní.[1]

Varianty jsou definovány jako konkrétní rozhodovací možnosti, které jsou logicky smysluplné a realizovatelné.

Kritéria jsou hlediska hodnocení variant a mohou být kvalitativní a kvantitativní.

Známe-li hodnocení variant podle kritérií, můžeme údaje uspořádat do kritériální matice Y , kde prvek y_{ij} vyjadřuje hodnocení i -té varianty podle j -tého kritéria.[5]

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

3.2.1 Kritéria

1) Kritéria můžeme dělit podle povahy:

- Kritéria minimalizační, kde nejlepší varianta má nejnižší hodnoty kritérií
- Kritéria maximalizační, kde nejlepší varianta má nejvyšší hodnoty kritérií

Při práci s kritériální maticí je výhodnější, když mají kritéria stejnou povahu, nejčastěji maximalizační. Pokud tomu tak není, je možné převést minimalizační kritéria na maximalizační a to dvěma způsoby:

a) vynásobení celého sloupce kritériální matice hodnotou -1

transformace $y'_{ij} = -y_{ij}$

b) výpočtem hodnot, které udávají zlepšení oproti nejhorší kritériální hodnotě

$$\text{transformace } y'_{ij} = y_{ij} - \max(y_{ij})$$

2) Kritéria můžeme dělit podle kvantifikovatelnosti:

- Kritéria kvantitativní, kde hodnoty variant tvoří objektivně měřitelné údaje
- Kritéria kvalitativní, subjektivně odhadnuté hodnoty, které nejdu změřit

Preference kritéria vyjadřuje důležitost tohoto kritéria v porovnání s ostatními kritérii.

Aspirační úroveň kritéria je hodnota, které má být alespoň dosaženo. Pro minimalizační kritérium se jedná o nevyšší přípustnou hodnotu kritéria a pro maximalizační kritérium je to nejnižší možná hodnota.

Váha kritéria je hodnota z uzavřeného intervalu od 0 do 1, kde součet vah je roven jedné a jednotlivé váhy vyjadřují relativní důležitost kritéria v porovnání s ostatními.

3.2.2 Varianty

Dominovaná varianta je taková, kdy vycházíme z předpokladu, že všechna kritéria jsou maximalizační. Pak varianta a_i dominuje variantu a_j , když platí vztah $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik}) \geq (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jk})$ a existuje alespoň jedno kritérium f_l , že $y_{il} > y_{jl}$. Varianta a_i je pak považována za dominující a je lépe hodnocená podle všech kritérií než dominovaná a_j . [1][5]

Nedominovaná varianta je taková, která není dominována žádnou jinou variantou. Znamená to, že může dosáhnout lepšího ohodnocení podle určitého kritéria jen za cenu zhoršení jiného kritéria. Tyto varianty se také nazývají paretoovské nebo také efektivní varianty a jsou základem modelů vícekritériální analýzy.

Bazální varianta je hypotetická nebo reálná varianta, jejíž ohodnocení je nejhorší podle všech kritérií.

Ideální varianta je hypotetická nebo reálná varianta, která dosahuje ve všech kritériích současně nejlepší možné hodnoty.

Kompromisní varianta je nedominovaná varianta doporučená jako řešení problému.

3.3 Metody stanovení vah kritérií

Stanovení vah kritérií bývá výchozím krokem při vytváření modelu vícekritériální analýzy variant. Získat váhy kritérií od rozhodovatele přímo v numerické podobě je často velmi problematické. Proto je vhodné usnadnit rozhodovateli určení vah kritérií pomocí nějakého jednoduchého nástroje. Tímto nástrojem mohou být metody odhadu vah kritérií. Jedná se o jednoduché postupy, které na základě subjektivních informací od rozhodovatele stanovují odhady vah.

U ordinálního typu informace o vztahu mezi kritérii se vychází ze schopnosti rozhodovatele určit pořadí kritérií nebo stanovit, které je preferovanější před jiným.[5]

U kardinálního typu informace o preferencích mezi kritérii se předpokládá, že rozhodovatel je schopný určit pořadí kritérií a zároveň vyjádřit o kolik je kritérium preferovanější než druhé.

V další části se zaměříme na dvě metody stanovení vah vycházející z kardinální informace preference – bodovací metody a Saatyho metody.

3.3.1 Bodovací metoda

Tato metoda předpokládá, že rozhodovatel je schopen kvantitativně ohodnotit důležitost kritérií v předem zvolené bodovací stupnici. Může se jednat například o stupnici od 1 do 10. Čím více je kritérium důležitější, tím vyšší bodové hodnocení získá. Odhad vah kritérií můžeme získat podle vztahu:[2]

$$V_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n.$$

kde symbol P_i označuje bodové ohodnocení i -tého kritéria.

3.3.2 Saatyho metoda

Jedná se o více propracovanou metodu odhadu vah kritérií, ale jen v případě, že váhy stanovuje jen jeden expert. Jedná se o metodu kvantitativního párového porovnání kritérií. Pro ohodnocení párových porovnání kritérií se používá celočíselná devítibodová stupnice, ve které je možné používat i mezistupně, které odpovídají hodnotám 2, 4, 6, 8:[1][5]

1 – rovnocenná kritéria i a j

3 – slabě preferované kritérium i před j

5 – silně preferované kritérium i před j

7 – velmi silně preferované kritérium i před j

9 – absolutně preferované kritérium i před j

Výhodou této stupnice je, že umožňuje vyjádření preferencí také verbálním způsobem, který bývá posuzovateli bližší.

Expert porovná každou dvojici kritérií a velikosti preferencí i -tého kritéria vzhledem k j -tému kritériu zapíše do Saatyho matice S :

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

Jsou-li i -té a j -té kritérium rovnocenné, pak $s_{ij} = 1$, preferuje-li slabě i -té kritérium před j -tým, pak $s_{ij} = 3$, preferuje-li silně i -té kritérium před j -tým, je hodnota $s_{ij} = 5$, při velmi silné preferenci i -tého kritéria před j -tým je hodnota $s_{ij} = 7$ a při absolutní preferenci je $s_{ij} = 9$. Je-li preferováno j -té kritérium před i -tým, do Saatyho matice se zapíše převrácená hodnota $s_{ij} = 1/3$ při slabé preferenci, atd.[1][2]

Matice je čtvercová řádu $n \times n$ a reciproká. Tím je vyjádřeno, že prvek s_{ij} se rovná opačné hodnotě prvku s_{ji} . Na diagonále jsou vždy hodnoty jedna, což vyjadřuje, že každé kritérium je samo sobě rovnocenné.

Po sestavení matice následuje několik početních způsobů odhadu vah v_j , ze kterých se nejčastěji používá postup výpočtu vah jako normalizovaného geometrického průměru řádků Saatyho matice (metoda logaritmických nejmenších čtverců). Vypočteme hodnoty b_i jako geometrický průměr řádků Saatyho matice dle následujícího vzorce:[1]

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

V poslední fázi se váhy vypočtou normalizací hodnot b_i dle uvedeného vztahu:

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

3.4 Klasifikace úloh vícekritériální analýzy variant

Klasifikace úloh vícekritériální analýzy je možné především podle dvou hledisek:[1]

- 1) podle cíle řešené úlohy
- 2) podle typu informace, s jakou úloha pracuje

Podle cíle dělíme úlohy na tři základní okruhy:

- a) Úlohy, kde cílem je vybrat jednu kompromisní variantu
- b) Úlohy, kde cílem je úplné uspořádání množiny variant
- c) Úlohy, kde cílem je rozdělení množiny variant na efektivní a neefektivní

Podle typu informace, kterou máme o preferencích mezi kritérii a variantami dělíme:

- a) **Informace o preferencích neexistuje**

není-li žádná informace o preferencích mezi variantami, není možné úlohu řešit, tato situace je možná jen pro informaci o preferencích mezi kritérii – entropická metoda

b) Nominální informace

Informace o preferencích mezi kritérii je vyjádřena pomocí aspiračních úrovní, které označují nejhorší možné hodnoty, při kterých může být varianta přijatelná nebo nepřijatelná.

Pro stanovení preferencí mezi variantami:

- metoda PRIAM

c) Ordinální informace

Informace vyjadřuje pořadí kritérií podle důležitosti nebo uspořádání variant podle toho, jak jsou hodnoceny kritériem.

Pro stanovení preferencí mezi kritérii:

- metoda pořadí
- Fullerova metoda

Pro stanovení preferencí mezi variantami:

- lexikografická metoda
- metoda ORESTE
- permutační metoda

d) Kardinální informace

Informace má kvantitativní i kvalitativní charakter a vyjadřuje o kolik nebo jak moc je jedno hodnocení lepší než druhé.

Pro stanovení preferencí mezi kritérii:

- bodovací metoda
- Saatyho metoda

Pro stanovení preferencí mezi variantami:

1. metody výpočtu funkce užitku
 - metoda váženého součtu
 - 2. na základě vzdálenosti variant od ideální a bazální varianty
 - metoda TOPSIS
3. metody založené na vyhodnocení preferenční relace
 - metoda AHP
 - metoda PROMETHEE
 - metoda ELECTRE
4. metoda pro práci s informací o mezní míře substituce kritériálních hodnot
 - metoda postupné substituce[1]

3.4.1 Metoda váženého součtu

Metoda váženého součtu vyžaduje kardinální informace, kritériální matici Y a vektor vah kritérií v . Stanovuje celkové hodnocení pro každou variantu, a tak ji lze použít pro hledání jedno nejvýhodnější varianty a také pro uspořádání variant od nejlepší po nejhorší.

Tato metoda je speciálním případem metody funkce užitku a vychází z principu maximalizace užitku. Dosáhne-li varianta a_i podle kritéria j určité hodnoty y_{ij} , přináší tak uživateli užitek, který lze vyjádřit pomocí lineární funkce užitku. Celkový užitek varianty je vyjádřen váženým součtem hodnot dílčích funkcí užitku:

$$U(a_i) = \sum_{j=1}^m v_j u_j(y_{ij})$$

Kde u_j jsou dílčí funkce užitku jednotlivých kritérií a v_j jsou váhy kritérií.

Postup metody váženého součtu je dán následujícím algoritmem:

1. Určíme ideální variantu H, která bude mít ohodnocení (h_1, h_2, \dots, h_n) a bazální variantu D, která bude ohodnocena (d_1, d_2, \dots, d_n) .
2. Vytvoříme standardizovanou kriteriální matici R, jejíž prvky získáme pomocí uvedeného vzorce:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - d_j}{h_j - d_j}$$

Matice R představují matici hodnot funkce užitku z i-té varianty podle j-tého kritéria, protože prvky této matice jsou transformovanými kriteriálními hodnotami tak, že r_{ij} náleží intervalu $\langle 0,1 \rangle$. Potom bazální variantě odpovídá hodnota nula a ideální variantě hodnota jedna.

3. Pro jednotlivé varianty vypočteme agregovanou funkci užitku:

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

Varianty seřadíme sestupně podle hodnot $u(a_i)$. Potřebný počet variant s nejvyššími hodnotami užitku, považujeme za řešení problému.[1][3][5]

3.4.2 Metoda AHP

Metoda Analytického hierarchického procesu byla navržena profesorem Saatyem v roce 1980.[5] Tato metoda poskytuje rámec pro účinné rozhodnutí ve složitých rozhodovacích situacích a pomáhá zjednodušit proces rozhodování. Je to metoda rozkladu složité situace na jednodušší části a tím vytváří hierarchický systém problému. Na každé úrovni hierarchické struktury se použije Saatyho metoda kvantitativního párového porovnání, které přiřadí jednotlivým komponentám hodnoty vyjadřující jejich důležitost. Syntézou těchto hodnocení se stanoví komponenta s nejvyšší prioritou. Důležitou podmínkou je, aby

uživatel uměl určit intenzitu a směr preference mezi všemi páry porovnávaných komponent.[1][5]

Postupy v metodě AHP můžeme vyjádřit v následujících bodech:

1. Konstrukce hierarchie problému.

Pod pojmem hierarchická struktura problému se rozumí struktura obsahující několik úrovní, kde každá z nich obsahuje několik prvků. Uspořádání úrovní musí být od obecného ke konkrétnímu.

2. Párové porovnání prvků v jednotlivých hierarchických úrovních.

Stanovíme lokální váhy jednotlivých kritérií, subkritérií a dalších prvků v jednotlivých úrovních problému pomocí Saatyho metody párového porovnávání.

3. Syntéza získaných preferencí a volba nejvýhodnější alternativy.

Lokální preference prvků vyjadřují preference vzhledem k nadřazenému prvku. Vypočteme pro každou variantu u všech kritérií součet součinů navazujících preferencí a dostaneme její hodnocení z hlediska všech kritérií. Nejlepší varianta má nejvyšší celkové ohodnocení.

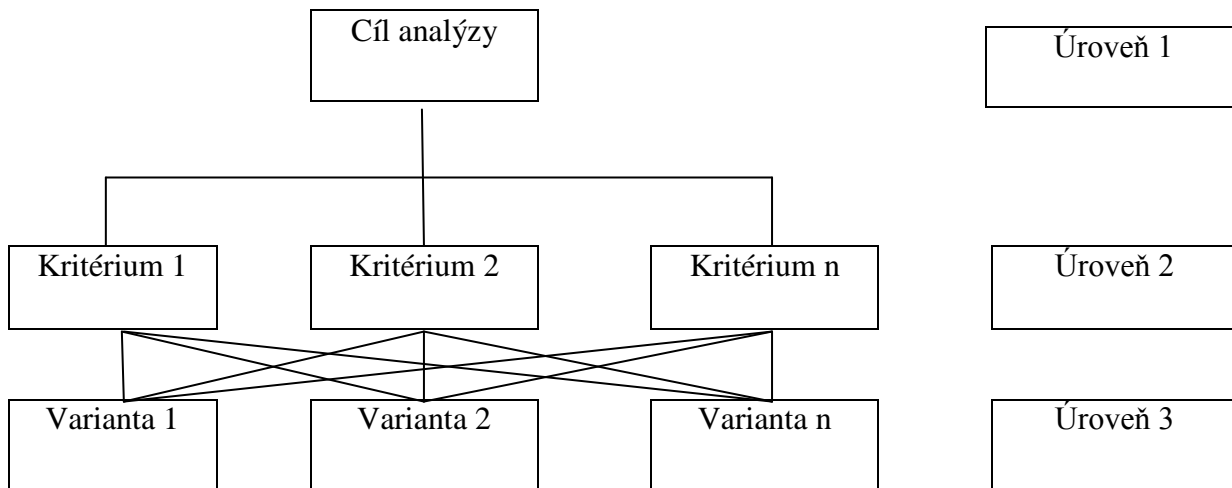
Základní úloha vícekritériální analýzy obsahuje tři úrovně:

Úroveň 1: obsahuje cíl vyhodnocování, kterým může být uspořádání variant.

Úroveň 2: obsahuje kritéria vyhodnocování.

Úroveň 3: obsahuje posuzované varianty

Schéma č. 1: Hierarchická struktura metody AHP



Uvedené schéma vyjadřuje strukturu úlohy pro tři základní úrovně. Složitější úlohy mají většinou mezi kritérii a variantami ještě úroveň subkritérií.[1]

3.4.3 Metoda TOPSIS

Tato metoda posuzuje varianty z hlediska jejich vzdáleností od ideální a bazální varianty. Vyžaduje kardinální hodnocení variant podle jednotlivých kritérií a váhy těchto kritérií. Postup výpočtu je následující:[1][2]

1. Sestavíme normalizovanou kritériální matici R podle vzorce:

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

Sloupce matice R jsou po této normalizaci vektory jednotkové délky.

2. Vypočítáme normalizovanou váženou kritériální matici W podle vztahu:

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

Určíme ideální variantu H s ohodnocením (h_1, \dots, h_n) a bazální variantu D s ohodnocením (d_1, \dots, d_n) vzhledem k hodnotám matice W .

3. Vypočteme vzdálenosti jednotlivých variant od ideální varianty a od bazální varianty pomocí vzorců:

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

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

4. Vypočítáme relativní ukazatele vzdáleností jednotlivých variant od bazální varianty podle vzorce:

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

Hodnoty těchto ukazatelů se pohybují mezi 0 a 1, přičemž hodnotu 0 nabývá bazální a hodnotu 1 ideální varianta. Varianty seřadíme sestupně podle hodnot c_i a potřebný počet variant s nejvyššími hodnotami tohoto ukazatele považujeme za řešení problému.[1][2]

3.5 Vybrané aplikace vícekriteriálního rozhodování

Uplatnění metod vícekriteriální analýzy variant není ojedinělé, což dokazuje její využití v řadě jiných prací. Proto bych zde rád zmínil o několika z nich, kde autor pomocí uvedených metod došel k následujícím řešení.

Dolák[12] se ve své bakalářské práci zabývá aplikací metod vícekriteriálního rozhodování na výběr cisternového návěsu pro přepravu pohonných hmot a topných olejů na pozemních komunikacích za účelem obnovy strojového parku společnosti Polari. Vybíráno je z 18 možností podle pěti kritérií, kterými je cena, objem, spotřeba paliva, univerzálnost zapojení a manévrovatelnost a efektivita v hůře dostupných oblastech. Výpočty autor provedl pomocí Saatyho metody pro stanovení vah a metodou váženého součtu vybírá návěs, která má nejvýhodnější cenu.

Rauvolfová[13] se ve své práci zaměřila na výběr zahradního traktoru pro obec Malotice. Protože původní počet variant přesahovat 100 druhů při počtu 26 kritérií, stavila autorka v první části aspirační úroveň, která vedla omezení počtu nabízených variant. Po této redukci zůstalo šest variant o šesti kritériích. Do základních kritérií byla zahrnuta cena, servis, výkon, objem nádrže, šíře záběru, objem koše traktoru. Výpočet nejvhodnější varianty byl proveden metodou analytického hierarchického procesu s výsledkem výběru traktoru s nejnižší cenou, ale s nejbližším servisem.

Vráblíková[14] se ve své bakalářské práci zabývá aplikací rozhodovacích modelů pro výběr nákladního vozu pro zabezpečení činnosti zahradního centra společnosti Chládek – Zahradnické centrum z důvodu náhrady za již značně ojetý automobil. Výběr je omezen na šest variant a pět kritérií. Opět mezi hlavní kritéria patří cena, nosnost, objem záruka a čelo. Autorka pro vyhodnocení využila metodu analytického hierarchického procesu a na základě výsledku, kdy dvě nejsilnější varianty dosáhly podobného užitku, použila metodu postupné substituce pro tyto dva vozy. Výsledná varianta nákladního vozu, která byla vyhodnocena jako nejlepší, měla nejlepší pozici v rámci kritéria cena a záruka, ale při nejmenším objemu ze všech ostatních variant.

Růžek[15] ve své práci se zaměřil na výběr stavební techniky pro firmu RL-Stav s.r.o., kde se v pozici jednatele společnosti rozhoduje o nákupu rypadla pro vodohospodářské a

inženýrské stavby. Důvodem pořízení je rozšíření činnosti v oblasti stavebnictví a uspokojování požadavků zákazníků. Do výběru zahrnuje pět možných variant o sedmi kritériích, do kterých zahrnul cenu, servis, reference strojníků, výkon, hloubkový dosah, šířku rypadla a záruku. Stanovení hodnot u kritéria servis a reference strojníků byla využita bodovací metoda. Následně pomocí Saatyho metody stanovuje váhy kritérií. Autor provedl vyhodnocení pomocí metody váženého součtu a TOPSIS. Na základě těsnosti výsledků provedl ověření pomocí metody AHP, ze které vyšel nejvyšší užitek u rypadla, které je nedražší, ale zároveň má nejvyšší výkon, hloubkový dosah a dobré retence strojníků.

Již na základě porovnání těchto bakalářských prací vyplývá, že pro stanovení vah využívá řada autorů Saatyho metodu, vhodnou pro jediného posuzovatele. Pro vyhodnocení vhodné varianty jsou použity nejčastěji metody TOPSIS, AHP a metoda váženého součtu. Nejčastěji uváděné kritérium je výkon, objem nebo servis a především cena. Další kritéria jsou specifická pro daný stroj nebo vůz.

4. Případová studie

4.1. Charakteristika ekonomického subjektu

Tato studie je sestavena pro menší rodinnou farmu, která je vedená na pana Václava Kašpara jako soukromě hospodařícího rolníka, zapsaného v Evidenci zemědělského podnikatele pod IČO 44625049. Jak je již patrné z úvodu, jedná se o zemědělský subjekt, který provozuje rostlinnou a živočišnou výrobu. Nachází se v Plzeňském kraji, v obci Útušice, okres Plzeň-město.

Pan Václav Kašpar navázal na rodinnou tradici a krátce po vrácení pozemků v rámci restitucí obnovil v roce 1992 zemědělskou činnost na svém statku. Koncem 90. let došlo k zániku místního Zemědělského družstva Útušice, který umožnil zvýšení hektarové výměry a rozšíření farmy pana Kašpara. V sídle bývalého ZD převzal a později odkoupil část hospodářských budov, do kterých přesunul vlastní živočišnou výrobu a to nejen v Útušicích, ale také v sousední obci Štěnovice.

V současné době je farma zaměřena na chov a výkrm prasat, které se nachází v Útušicích a odchov býků ve Štěnovicích. V malé míře farma chová ovce a koně. Rostlinná výroba je zaměřena na produkci obilovin, převážně potravinářské pšenice a ječmene krmného i sladovnického. Farma dnes hospodaří na více než sto hektarech orné půdy a luk. Stále se jedná o rodinnou farmu, jejíž provoz trvale zajišťují 3 lidé. Dlouhodobě má farma velmi dobré výsledky především v produkci obilovin a menší míře také řepky. Horší situace nastala v živočišné výrobě, kdy v uplynulých letech velmi kolísala výkupní cena vepřového masa. Zavedením výkrmu býků farma zvýšila efektivnost a snížila rizika především obnovou a investicemi do hospodářských budov a zařízení.

Další investice, kterou majitel v současné době zvažuje, je do obnovy strojového parku farmy. Před třemi lety byla farma nucena nahradit poruchové sklízecí mlátičky německé výroby Fortschritt E 512 a E 517 za použitý, ale novější a výkonnější kombajn New Holland TX 66. Pro polní práce má farma k dispozici 2 traktory značky Zetor 12045 a Zetor 16045. K dalším využívaným tahačům patří Zetor 7011 a Zetor 8045 Crystal, který slouží převážně jako nakladač.

Na každodenní běžnou údržbu a přepravu je dosud nejčastěji využíván Zetor 7011 vyrobený v roce 1983. K základním činnostem provozu patří zavážení krmení a

manipulace ve stájích a budovách, přesuny mezi stájemi ve Štěnovicích a provozem v Útušicích, jejichž vzdálenost je dva kilometry. V rámci plnění dlouhodobých obchodních závazků je traktor pravidelně využíván pro transport obilovin k odběratelům a k převozu nakoupených krmných směsí. Vzhledem ke stáří a opotřebenosti tohoto traktoru dochází k častější poruchovosti traktoru a tím zvyšování nákladů na servis a opravy stroje. Zároveň tím dochází k vyššímu užívání ostatních traktorů, které je pro dané práce méně efektivní. Z tohoto důvodu majitel farmy zvažuje nákup nového univerzálního traktoru, který by plně vyhovoval podmínkám každodennímu provozu farmy, a zároveň se tím naskytla příležitost v rámci této bakalářské práce použít metody vícekritériálního rozhodování při výběru stroje.

4.2. Požadavky na vhodnou variantu traktoru

V předchozí kapitole jsme uvedli, že hlavní požadavkem je univerzálnost traktoru. K jeho hlavním úkolům nepatří jen každodenní nasazení v živočišné výrobě, ale sezonní využití při sklizni pícnin a obilovin, při ochraně rostlin a také při silniční dopravě.

Technické parametry motoru a jeho výkonu byly stanoveny v rozmezí 65-90 HP (koňských sil) s pohonem všech kol. Jedná se o vznětový motor o minimálním počtu 4 válců. S ohledem na snižování nutnosti podřazování především v silničním provozu je vhodné, aby traktor disponoval velkým převýšením točivého momentu, zajišťující dostatečnou rezervu v každém rozsahu otáček.

Mezi základní požadavky na karoserii a podvozek jsou v provedení s kabinou řidiče, s uzávěrkou diferenciálu zadní nápravy. Převodový agregát by měl být plně synchronizovaný, mechanický s pětistupňovou převodovkou. Významný je také vyšší objem palivové nádrže s uzamykatelným uzávěrem o minimálním objemu 100 l.

Vnitřní vybavení traktoru by mělo obsahovat stavitelný volant, klimatizaci a sedadlo spolujezdce s dostatkem prostoru a ergonomickým řešením ovládacích prvků traktoru.

Významným požadavkem na schopnosti a vlastnosti stroje jsou nízký profil kabiny a malý poloměr otáčení důležitý při práci v budovách a jejich okolí. Maximální rychlost traktoru by měla dosahovat minimálně 35 km/h. Základní hmotnost stroje bez přídatných závaží by měla být vysoká s ohledem na časté využití přípojných zařízení.

Rozhodujícím kritériem, které má minimalizační povahu je cena traktoru. Financování stroje je plně hrazeno z vlastních zdrojů a tím vzniká zásadní požadavek na minimalizaci nákladů. Maximální výše ceny stroje byla stanovena na 1 milion Kč bez DPH.

Značný význam na úsporu nákladů má také dostupnost a vzdálenost servisní sítě, dodávání náhradních dílů nebo cena servisních prací. Přes skutečnost, že se jedná o pořízení nového traktoru a tím by poruchovost měla být okrajovou záležitostí, po uplynutí záruční doby může i drobná porucha výrazně zvýšit náklady na provoz a údržbu. Z tohoto pohledu je požadavek servisu dalším velmi významným kritériem.

4.3. Stanovení kritérií

Nejdůležitějším faktorem pro vícekritériální analýzu variant je dobrá volba kritérií. Uspořádání kritérií podle jejich významu od nejdůležitějšího po nejméně důležité bylo provedeno při konzultaci s majitelem farmy a bylo vybráno celkem 6 kritérií, které by měly rozhodnout o konečném výběru traktoru.

1. Cena traktoru

Investice je plně kryta z vlastních zdrojů, které jsou omezené. Tím je vyvolána snaha o minimalizaci pořizovací ceny a vedlejších nákladů na pořízení stroje. Cena je uvedena v tisících Kč bez DPH. Význam tohoto kritéria je nejvyšší a má povahu minima.

2. Servis stroje

Další velmi významné kritérium plynoucí z provozu stroje, které se postupným opotřebením zvyšuje. Vyjádření hodnot bude provedeno v samostatné tabulce bodovací hodnotou. Má povahu maxima.

3. Výkon motoru

V podmínkách zemědělské činnosti nastávají často provozní situace, kdy je potřeba nejvyššího možného výkonu. Hodnoty jsou uvedeny v kilowattech a kritérium má povahu maxima.

4. Poloměr otáčení

Význam tohoto kritéria je ve snazší manipulaci a dostupnosti v úzkých nebo jinak omezených prostranstvích, zemědělských budovách nebo stájích. Kritérium je uvedeno v centimetrech a má povahu minima.

5. Výška

Nižší celková výška stroje umožňuje přístup do stájí a budov. Případně nižší výška stroje v kombinaci se širším rozvorem náprav zvyšuje stabilitu stroje na silnici i v terénu. Hodnoty jsou uvedeny v centimetrech a má povahu minima.

6. Hmotnost

Vyšší hmotnost je vhodná při zapojování těžších přídatných zařízení. Hodnoty hmotnosti jsou vedeny v kilogramech a kritérium má povahu maxima.

4.4. Popis jednotlivých variant

Na základě požadavků na technické parametry traktoru bylo osloveno šest zástupců renomovaných zahraničních společností s přímým obchodním zastoupením v ČR a také obchodní zástupce tuzemského výrobce traktorů značky Zetor. Osloveny byly pouze společnosti s delším působením na zdejším trhu a především byl brát zřetel na obchodní a servisní zastoupení v Plzeňském regionu. Na základě výsledných kalkulací, které zaslalo pět obchodních zástupců, byly do hodnocení zařazeny následující varianty:

1. New Holland T 5040
2. Case Farmall 85 A

3. McCormick X 5020
4. Claas Axos 320
5. Zetor Proxima 80

New Holland T 5040



Obrázek č. 1: Traktor New Holland T 5040 [6]

Prodejce značky New Holland nabízí nový traktor typu T 5040 ve výbavě Ambiente. Jedná se o traktor se čtyřválcovým motorem o výkonu 86 koňských sil a objemu 3,2 l při 2 500 ot./min podle normy ISO 14396. Motor CNH přeplňovaný turbodmychadlem s mezichladičem stlačeného vzduchu má plynulý a tichý chod, který splňuje emisní normu Tier 3. Dopravní rychlost traktoru je 40 km za hodinu. Maximální točivý moment je 328 Nm při 1 250 ot./min, nádrž paliva 110 l, viskozni spojka ventilátoru chladiče, interval servisní prohlídky 600 Mth.

Převodovka o rychlostech 12x12 je plně synchronizovaná, elektrohydraulicky ovládaná uzávěrka diferenciálu zadní nápravy, mechanicky ovládaná spojka zadního vývodového hřídele, přední náprava s automatickým diferenciálem.

Hydraulika je mechanická, maximální zvedací kapacita 3 565 kg, mechanicky ovládané 3 vnější okruhy hydrauliky, výkon hydraulického čerpadla 50 l/min, maximální pracovní tlak 19 MPa, výkon hydraulického čerpadla řízení 28 l/min. Traktor má zadní tříbodový závěs s rychloupínacími koncovkami, teleskopické stabilizátory a zadní tříbodový závěs.

Kabina obsahuje klimatizaci, vzduchem odpruženou sedačku řidiče, sedadlo spolujezdce, 2 přední pracovní světla na madlech, 4 zadní pracovní světla, standardní blatníky s rozšířením, zadní stěrač a ostřikovač, teleskopická zpětná zrcátka. [6]

Case Farmall 85 A



Obrázek č. 2: Case Farmall 85 A [7]

Distributor značky Case IH nabízí typ Farmall 85 A o výkonu 82 koňských sil. Je vybaven čtyřválcovým motorem o objemu 3,2 litru. Model je vybaven turbodmychadlem a mezichladičem. Motory splňují emisní normu Tier 3. Objem palivové nádrže je 110 litrů. Pro vysoká zatížení je nárůst točivého momentu až 44%. Maximální točivý moment je 328 Nm při 1 250 ot./min.

Převodovka v základním provedení má možnosti řazení 12 rychlostí vpřed a 12 vzad. Rychlost dosahuje 40 km/h. Hydraulické čerpadlo s kapacitou 50 l/min a samostatné čerpadlo řízení s kapacitou 29 l/min. Celkově tak nabízí průtok až 79 l/min. Až 3 mechanické rozvaděče a až 2 mechanické středové rozvaděče. Traktor je vybaven klimatizací a kabina nabízí velké plochu prosklených částí pro dobrou viditelnost. Pro práci v noci jsou k dispozici dvě směrově stavitelná přední pracovní světla a dvě zadní stavitelná světla nebo na přání 4 pracovní světla. Pracovní světla chráněna pod střechou. Zvedací síla zadních ramen je až 3565 kg. [7]

McCormick X 5020



Obrázek č. 3: Traktor McCormick X 5020 [8]

Traktor řady X50 je vybaven motorem Perkins 854E, který splňuje emisní normu Tier 4. Jedná se o čtyřválcový motor o objemu 3,4 litru vybavený turbodmychadlem. Motor dosahuje výkonu 62 kW a maximální točivý moment až 450 N.m. Převodovka značky Speed Four je v základním provedení vybavena 24 stupni vpřed a 12 vzad. Uzávěrka zadního diferenciálu je ovládána elektrohydraulicky.

Hydraulika zadních ramen má zdvihací kapacitu až 4350 kg. Výrobce nabízí v základním provedení čtyřsloupkovou odpruženou kabinu a ergonomicky uspořádané ovládací prvky na nově řešené digitální přístrojové desce. Součástí je klimatizace a vzduchem odpružená sedačka. Celková výška stroje je 256,3 cm. Hmotnost traktoru bez přídatných závaží je 3850 kg.[8]

Claas Axos 320



Obrázek č. 4: Traktor Claas Axos 320 [9]

Obchodní zástupce společnosti Claas nabízí v dané cenové relaci slabší typ traktoru Axos 320, který v základním provedení splňuje požadované technické parametry. Jedná se o čtyřválcový motor o výkonu 64 kW, objemem válců 4,4 l a maximální točivý moment 373 N.m. Zároveň výrobce udává řadu nových vlastností, mezi které řadí velký rozvor náprav, důležitý pro stabilitu jak při transportu, tak při manipulaci s neseným nářadím. Velká zvedací síla zadního závěsu je až 5100 kg.

Další vlastností jsou dopředu otevíratelné dveře s úhlem otevření 180°, vhodných do úzkých krmných chodeb nebo menších prostorů. Nabídka kabiny s minimální výškou pod 2,5 m je vhodná zejména pro využití v ŽV. Kabina je vždy dvoumístná, ve standardní

výbavě také se sedadlem spolujezdce. Objem palivové nádrže je 145 l. Provozní rychlost je 40 km/h.[9]

Zetor Proxima 80



Obrázek č. 5: Traktor Zetor Proxima 80 [10]

Jediný zástupce českého výrobce traktorů Zetor nabízí typ Proxima 80 v provedení Agro. Jedná o se čtyřválcový motor s výkonem 56 koňských sil a 76 kW o objemu 4,1 l. Při vysokém zatížení je nárůst točivého momentu až 35%. Převodovka je mechanická, plně synchronizovaná při počtu převodových stupňů 12 vpřed a 12 vzad. Maximální provozní rychlost je 40 km/h. Traktor splňuje emisní normu Tier 3.

Hydraulika je mechanická s výkonem hydraulického čerpadla 50 l/min, maximální pracovní tlak 19 MPa, zadní tříbodový závěs s rychloupínacími koncovkami. Kabina traktoru je vybavena ergonomicky umístěnými ovládacími prvky, přehlednou analogovou přístrojovou deskou a komfortním sedadlem včetně sedadla spolujezdce.[10]

Tabulka č. 1: Přehled vybraných parametrů traktorů

		New Holland T 5040	Case Farmall 85 A	McCormick X 5020	Claas Axos 320	Zetor Proxima 80
výkon	kW	63	60	62	64	56
výkon	HP	86	82	85	87	77
válce	ks	4	4	4	4	4
max. rychlost	km/h	40	40	40	40	40
objem nádrže	l	110	110	90	145	105
pol. otáčení	m	4,05	5,50	4,60	4,30	4,01
hmotnost	kg	3400	5800	3850	3730	4151
objem válců	l	3,2	3,2	3,4	4,4	4,1
kapacita ramen	kg	3565	3565	4350	5100	3300
cena	tis. Kč	850	750	830	920	770

Zdroj: Vlastní zpracování

4.5. Bodové hodnocení kritéria servis

Servis je jedna z významných kritérií po celou dobu provozu traktoru. Přes skutečnost, že u nového stroje je nižší pravděpodobnost poruchy, v delším časovém horizontu v závislosti na opotřebením, se jeho využití výrazně zvyšuje. Subjektivní hodnocení provedl majitel farmy na základě dosavadních zkušeností a poznatků. Bodová stupnice byla stanovena s rozlišovací schopností 1 – 5. Vyšší hodnota znamená vyšší důležitost, nižší hodnota vyjadřuje horší hodnocení.

A – hustota servisní sítě

B – dostupnost náhradních dílů

C – rychlost servisu

D – vzdálenost servisu

E – hodinová cena servisních prací

Tabulka č. 2: Stanovení váhy u varianty New Holland T 5040

	A	B	C	D	E	Celkem
body	3	4	3	3	3	16
váha	0,1875	0,2500	0,1875	0,1875	0,1875	1

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 3: Stanovení váhy u varianty Case Farmall 85 A

	A	B	C	D	E	Celkem
body	2	3	3	3	3	14
váha	0,1428	0,2143	0,2143	0,2143	0,2143	1

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 4: Stanovení váhy u varianty McCormick X 5020

	A	B	C	D	E	Celkem
body	1	2	2	3	2	10
váha	0,10	0,20	0,20	0,30	0,20	1

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 5: Stanovení váhy u varianty Claas Axos 320

	A	B	C	D	E	Celkem
body	2	2	4	3	2	13
váha	0,1538	0,1538	0,3078	0,2308	0,1538	1

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 6: Stanovení váhy u varianty Zetor Proxima 80

	A	B	C	D	E	Celkem
body	4	4	3	4	3	18
váha	0,2222	0,2222	0,1667	0,2222	0,1667	1

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 7: Stanovení kritérií výběru (K) a hodnot jednotlivých variant (T)

		<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K4</i>	<i>K5</i>	<i>K6</i>
		min	max	max	min	min	max
		Cena (tis. Kč)	Servis (body)	Výkon motoru (kW)	Poloměr otáčení (cm)	Výška (cm)	Hmotnost (kg)
T1	New Holland T 5040	850	16	63	405	253,6	3400
T2	Case Farmal 85 A	750	14	60	550	264,0	5800
T3	McCormick X 5020	830	10	62	460	256,3	3850
T4	Claas Axion 320	920	13	64	430	243,0	3730
T5	Zetor Proxima 80	770	18	56	401	274,8	4151

Zdroj: Vlastní zpracování

T - varianty vybraných traktorů

K – kritéria výběru

4.6 Stanovení vah pomocí Saatyho metody

Toto stanovení vah je založeno na skutečnosti, že hodnocení provádí pouze jediný expert. Takové hodnocení může být do určité míry subjektivní v závislosti na znalostech a zkušenostech posuzovatele. V našem případě byl pro úlohu experta osloven soukromý zemědělec pan Václav Kašpar, jehož hodnocení je uvedeno v následující tabulce. Posuzovatel použil stupnici 1 – 9, uvedené v kapitole 3.3.2, včetně mezistupňů 2,4,6,8:

Tabulka č. 8: Stanovení vah pomocí Saatyho metody

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Ri	Vi
K1	1	3	4	5	7	8	3,8701	0,4360
K2	1/3	1	3	5	5	6	2,3012	0,2592
K3	1/4	1/3	1	3	4	5	1,3055	0,1471
K4	1/5	1/8	1/3	1	2	3	0,6553	0,0738
K5	1/7	1/5	1/4	1/2	1	3	0,4694	0,0529
K6	1/8	1/6	1/5	1/3	1/3	1	0,2753	0,0310
							8,8768	1,0000

Zdroj: Vlastní zpracování

S pomocí Saatyho metody jsme určili konkrétní váhový vektor, který využijeme při dalších výpočtech u jednotlivých metod VAV s tímto výsledkem:

1. Cena traktoru - váha 0,4360
2. Servis traktoru – váha 0,2592
3. Výkon motoru – váha 0,1471
4. Poloměr otáčení – váha 0,0738
5. Výška traktoru – váha 0,0529
6. Hmotnost stroje – váha 0,0310

4.7 Metoda váženého součtu

S pomocí této metody zjistíme celkové hodnocení pro každou jednotlivou variantu T1 – T5. Následně můžeme seřadit varianty od nejvýznamnější po nejhorší. Metoda je založena na lineární funkci užitku, která zde nabývá hodnot od 0 do 1. Hodnota, která se bude nejvíce blížit jedné, označuje variantu, která nám přináší nejvyšší užitek a tím je pro nás nejvýhodnější.

Tabulka č. 9: Vícekriteriální matice

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
T1	850	16	63	405	253,6	3400
T2	750	14	60	550	264,0	5800
T3	830	10	62	460	256,3	3850
T4	920	13	64	430	243,0	3730
T5	770	18	56	401	274,8	4151
Povaha	min	max	max	min	min	max
Váha	0,4360	0,2592	0,1471	0,0738	0,0529	0,0310

Zdroj: Vlastní zpracování

Hodnoty z Tabulky č. 8 využijeme pro stanovení ideální a bazální varianty, viz kapitola 3.4.1.

Ideální varianta H = (750; 18; 64; 401; 243,0; 5800)

Bazální varianta D = (920; 10; 56; 550; 274,8; 3400)

Další postup výpočtu je opět v souladu s kapitolou 3.4.1. Vytvoříme standardizovanou kriteriální matici R, jejíž prvky získáme pomocí uvedeného vzorce. Matice R představuje matici hodnot funkce užitku z i -té varianty podle j -tého kritéria, protože prvky této matice jsou transformovanými kriteriálními hodnotami tak, že r_{ij} náleží intervalu $\langle 0|1 \rangle$. Poto m

bazální variantě odpovídá hodnota nula a ideální variantě hodnota jedna. Pro jednotlivé varianty vypočteme agregovanou funkci užitku.

Tabulka č. 10: Standardizovaná kriteriální matice R

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
T1	0,4117	0,7500	0,8750	0,9731	0,6666	0,0000
T2	1,0000	0,5000	0,5000	0,0000	0,3396	1,0000
T3	0,5294	0,0000	0,7500	0,6040	0,5817	0,1875
T4	0,0000	0,3750	1,0000	0,8053	1,0000	0,1375
T5	0,8824	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,3129
Váha	0,4360	0,2592	0,1471	0,0738	0,0529	0,0310

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 11: Výsledné pořadí dle hodnoty užitku

Pořadí	Užitek	Varianta
1	0,7274	T5
2	0,6880	T2
3	0,6096	T1
4	0,4221	T3
5	0,3608	T4

Zdroj: Vlastní zpracování

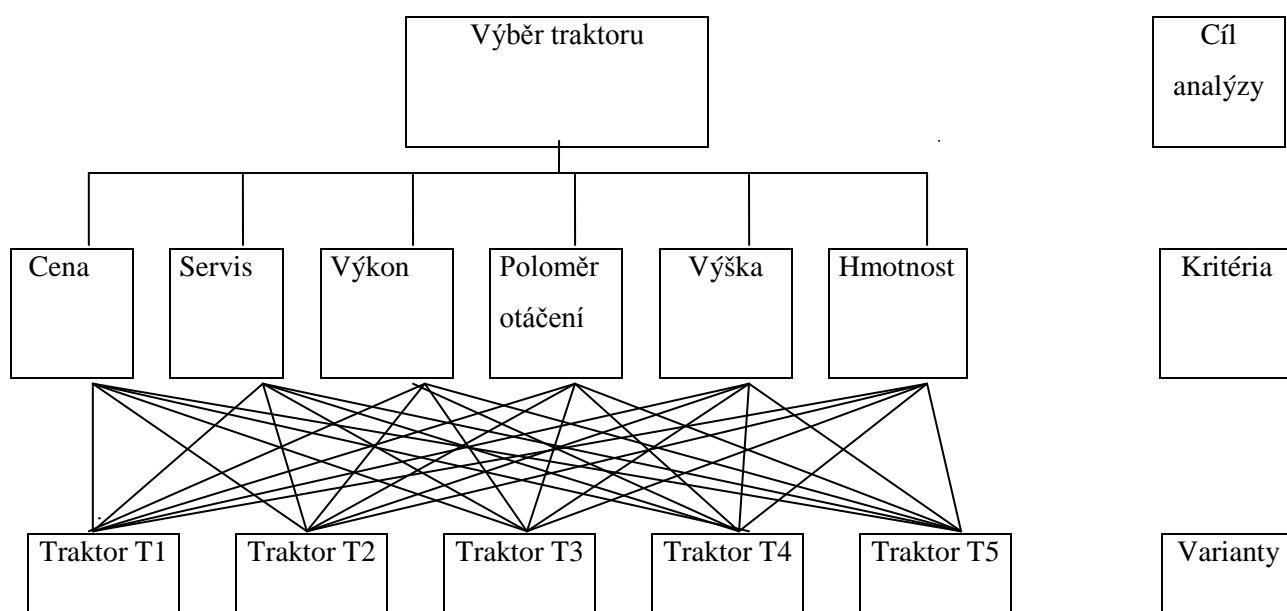
Z výsledků uvedených v Tabulce č. 10 vyplývá, že výsledky jsou u prvních dvou variant poměrně vyrovnané. Nejvyšší užitek přináší varianta T5, konkrétně se jde o značku Zetor Proxima 80. Jedná se o variantu, která převyšuje ostatní v kritériu servisu a poloměru otáčení. Naopak u výkonu a výšky je v hodnocení nejhorší. Druhá nejvyšší hodnota užitku vychází u varianty T2 zastoupené typem Case Farmall 85 A, který má ze všech uvedených variant nejprůzračnější cenu.

4.8 Analytický hierarchický proces – metoda AHP

Metoda AHP představuje model, jehož základní strukturu tvoří v našem případě tři úrovně. První z nich, označená jako cíl analýzy, znamená v našem případě výběr traktoru. Ve druhé úrovni jsou zachyceny kritéria vyhodnocování, kterými jsou cena, servis, výkon, poloměr otáčení, výška a hmotnost. Třetí úroveň obsahuje jednotlivé posuzované varianty T1 – T5.

Pro lepší názornost je v následujícím schématu zobrazena hierarchická struktura výběru traktoru.

Schéma č. 2: Hierarchická struktura AHP pro výběr traktoru



V dalším kroku provedeme porovnání mezi variantami, které posuzující provedl pomocí jednotlivých Saatyho matic. Zde se porovnávají varianty mezi sebou z pohledu jednotlivých kritérií.

Tabulka č. 12: Párové porovnání variant podle kritéria cena

cena	T1	T2	T3	T4	T5		váha
T1	1	1/5	1/2	1/6	1/5	0,3195	0,0436
T2	5	1	5	7	3	3,4997	0,4771
T3	2	1/5	1	5	1/3	0,9221	0,1257
T4	6	1/7	1/5	1	1/9	0,4526	0,0617
T5	5	1/3	3	9	1	2,1411	0,2919
						7,3350	1,0000

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 13: Párové porovnání variant podle kritéria servis

servis	T1	T2	T3	T4	T5		váha
T1	1	3	6	4	1/3	1,8881	0,2624
T2	1/3	1	7	3	1/4	1,1184	0,1554
T3	1/6	1/7	1	1/5	1/7	0,2325	0,0323
T4	1/4	1/3	5	1	1/5	0,6084	0,0846
T5	3	4	7	5	1	3,3470	0,4653
						7,1944	1,0000

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 14: Párové porovnání variant podle kritéria výkon

výkon	T1	T2	T3	T4	T5		váha
T1	1	5	3	1/2	7	2,2082	0,3131
T2	1/5	1	1/3	1/5	5	0,5818	0,0825
T3	1/3	3	1	1/3	5	1,1076	0,1570
T4	2	5	3	1	7	2,9137	0,4132
T5	1/7	1/5	1/5	1/7	1	0,2412	0,0342
						7,0525	1,0000

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 15: Párové porovnání variant podle kritéria poloměr otáčení

poloměr otáčení	T1	T2	T3	T4	T5		váha
T1	1	7	5	4	1/2	2,3389	0,3034
T2	1/7	1	1/7	1/7	1/8	0,2052	0,0266
T3	1/5	7	1	1/4	1/7	0,5493	0,0713
T4	1/4	7	4	1	1/5	1,0696	0,1388
T5	2	8	7	5	1	3,5452	0,4599
						7,7082	1,0000

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 16: Párové porovnání variant podle kritéria výška

výška	T1	T2	T3	T4	T5		váha
T1	1	5	3	1/3	7	2,0362	0,2857
T2	1/5	1	1/3	1/5	5	0,5818	0,0817
T3	1/3	3	1	1/3	5	1,1076	0,1554
T4	3	5	3	1	7	3,1598	0,4434
T5	1/7	1/5	1/5	1/7	1	0,2412	0,0338
						7,1266	1,0000

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 17: Párové porovnání variant podle kritéria hmotnost

hmotnost	T1	T2	T3	T4	T5		váha
T1	1	1/8	1/5	1/4	1/7	0,2454	0,0309
T2	8	1	6	6	5	4,2823	0,5387
T3	5	1/6	1	2	1/5	0,8027	0,1010
T4	4	1/6	1/2	1	1/5	0,5818	0,0732
T5	7	1/5	5	5	1	2,0362	0,2562
						7,9484	1,0000

Zdroj: Vlastní zpracování

Na závěr dílčích výpočtů chybí vypočítat užitek jednotlivých variant, který zjistíme, pokud váhy variant podle jednotlivých kritérií, vynásobíme váhovým vektorem kritérií, viz kap. 3.4.2. Součet dílčích hodnocení variant traktorů podle kritérií bude základem pro konečné vyjádření výsledků, viz Tabulka č. 19. Zároveň byla ověřena konzistence uvedených Saatyho matic s kladným výsledkem.

Tabulka č. 18: Výpočet užítku jednotlivých variant metodou AHP

	cena	servis	výkon	poloměr otáčení	výška	hmotnost	užitek
T1	0,0436	0,2624	0,3131	0,3034	0,2857	0,0309	0,1715
T2	0,4771	0,1554	0,0825	0,0266	0,0817	0,5387	0,2833
T3	0,1257	0,0323	0,1570	0,0713	0,1554	0,1010	0,1029
T4	0,0617	0,0846	0,4132	0,1388	0,4434	0,0732	0,1455
T5	0,2919	0,4653	0,0342	0,4599	0,0338	0,2562	0,2860
váhy kritérií	0,4360	0,2592	0,1471	0,0738	0,0529	0,0310	

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 19: Pořadí variant metodou AHP

Pořadí	Váha	Varianta
1	0,2860	T5
2	0,2833	T2
3	0,1715	T1
4	0,1455	T4
5	0,1029	T3

Zdroj: Vlastní zpracování

Metoda AHP nám potvrdila výsledek z metody váženého součtu. Opět se na prvním místě umístila varianta T5 a na druhém místě varianta T2. Ostatní varianty vykazují větší odstup od vítězných dvou možností. Výsledek také ukazuje vyšší vyrovnanost variant T5 a T1 a proto výsledek ověříme ještě jednou metodou, kterou bude metoda TOPSIS.

4.9 Metoda TOPSIS

Hodnocení této metody je založeno na vzdálenosti jednotlivých variant od ideální a bazální varianty. Budeme postupovat podle kapitoly 3.4.3.

Tabulka č. 20: Normalizovaná kritériální matice

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
T1	0,4601	0,4950	0,4614	0,4002	0,4386	0,3561
T2	0,4059	0,4331	0,4394	0,5436	0,4566	0,6074
T3	0,4492	0,3094	0,4540	0,4546	0,4433	0,4032
T4	0,4979	0,4022	0,4687	0,4250	0,4203	0,3906
T5	0,4168	0,5569	0,4101	0,3963	0,4753	0,4347

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 21: Normalizovaná vážená kritériální matice

Váha	0,4360	0,2592	0,1471	0,0738	0,0529	0,0310
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
T1	0,2006	0,1283	0,0679	0,0295	0,0232	0,0101
T2	0,1769	0,1122	0,0646	0,0401	0,0241	0,0188
T3	0,1958	0,0802	0,0667	0,0335	0,0234	0,0125
T4	0,2171	0,1042	0,0689	0,0314	0,0222	0,0121
T5	0,1817	0,1443	0,0603	0,0292	0,0251	0,0135

Zdroj: Vlastní zpracování

Hodnoty ideální varianty H = (0,1769; 0,1443; 0,0689; 0,0292; 0,0222; 0,0188)

Hodnoty bazální varianty D = (0,2171; 0,0802; 0,0603; 0,0401; 0,0251; 0,0101)

V dalším kroku zjistíme vzdálenosti od varianty ideální (H) a bazální (D) a relativní index vzdálenosti c.

Tabulka č. 22: Výsledný přehled pořadí variant

Varianta	d+	d-	c	Pořadí
T1	0,0299	0,0525	0,6371	2
T2	0,0342	0,0523	0,6046	3
T3	0,0673	0,0234	0,2580	5
T4	0,0572	0,0272	0,3223	4
T5	0,0115	0,0741	0,8656	1

Zdroj: Vlastní zpracování

Metoda TOPSIS potvrdila variantu T5 – Zetor Proxima 80 jako vítěznou s větším odstupem od ostatních možností. Na druhé místo překvapivě posunula variantu T1 – traktor New Holland T 5040 a varianta T2 – traktor Case Farmall 85 A zůstává na třetím pořadí. Výsledky variant T1 a T2 jsou ovšem velmi vyrovnané.

5. Závěr

Záměrem této práce bylo stanovit vhodnou variantu nového kolového traktoru pro práci v zemědělské výrobě na soukromé rodinné farmě pana V. Kašpara pomocí rozhodovacích metod vícekriteriální analýzy variant.

Úvodní část práce byla zaměřena na seznámení s modely a základními pojmy vícekriteriální analýzy variant a jejich výběrem pro vlastní zpracování.

V praktické části práce jsme úvodem popsali ekonomický subjekt a odůvodnili potřebu pořízení nového traktoru. Tato skutečnost se stala základem pro vlastní zpracování. Na základě stanovených požadavků byli osloveni prodejci několika známých světových výrobců včetně jediného tuzemského. Z obdržených nabídek bylo vybráno pět různých variant traktorů posuzovaných podle šesti kritérií, sestavených do kriteriální matice dle Saatyho metody, kterou byly určeny váhy jednotlivých kritérií.

Na vyhodnocení jednotlivých variant traktorů byly uplatněny tři metody. První vyhodnocení bylo provedeno metodou váženého součtu, ze kterého vyšla vítězná varianta T5 – Traktor Zetor Proxima 80. Druhé vyhodnocení analytickým hierarchickým procesem přineslo větší těsnost výsledků. Opět na prvním místě byla vyhodnocena varianta T5, ovšem velmi těsně za touto variantou byla vyhodnocena varianta T2 – traktor Case Farmall 85 A. S ohledem na velice vyrovnaný výsledek byla použita ještě třetí metoda k ověření dosavadních výsledků. Metodou TOPSIS byla již s větším odstupem potvrzena varianta T5 jako nejvýhodnější.

Tímto závěrem byl naplněn hlavní cíl práce. Uplatněním rozhodovacích metod bylo dosaženo jednoznačného výsledku, na jehož základě byl panu Václavu Kašparovi doporučen k zakoupení traktor Zetor Proxima 80.

Práce zároveň prokázala, že použití rozhodovacích metod má význam také pro malé ekonomické subjekty, kde velmi často o chodu firmy rozhoduje jediná osoba. Přes skutečnost, že zpracování výsledků je časově náročnější, posouvá oblast rozhodování ve firmě na vyšší úroveň.



Obrázek č. 6: Zetor Proxima 80 [11]

6. Seznam použitých zdrojů

1. ŠUBRT, Tomáš a kol., *Ekonomicko-matematické modely*, Aleš Čeněk, Plzeň, 2011, ISBN – 978-80-7380-345-2
2. JABLONSKÝ, Josef, *Operační výzkum – Kvantitativní metody pro ekonomické rozhodování*, Professional Publishing, Praha, 2007, ISBN 978-80-86946-44-3
3. PLAMÍNEK, Jiří, *Řešení problémů a rozhodování*, Grada, Praha, 2008, ISBN 978-80-247-2437-9
4. FOTR, Jiří a kol., *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*, Ekopress, Praha, 2006, ISBN 80-86929-15-9
5. BROŽOVÁ, Helena, HOUŠKA, Milan, ŠUBRT, Tomáš, *Modely pro vícekritériální rozhodování*, Česká zemědělská univerzita v Praze, reprografické studio PEF ČZU, Praha, 2003, ISBN 978-80-213-1019-3
6. Traktor New Holland [online]. Dostupné z [://www.arbo-kt.cz/stroje-skladem.html](http://www.arbo-kt.cz/stroje-skladem.html) [cit. 2013-12-20]
7. Traktor Case Farmal 85 A [online]. Dostupné z [://www.cskagro.cz/pages/case-ihsteyr/traktory-case-ih.php](http://www.cskagro.cz/pages/case-ihsteyr/traktory-case-ih.php) [cit. 2013-12-22]
8. Traktor McCormick [online]. Dostupné z [://www.moreauagri.cz/produkty/traktory/mccormick/](http://www.moreauagri.cz/produkty/traktory/mccormick/) [cit. 2013-12-20]
9. Traktor Claas Axos [online]. Dostupné z [://www.klas-bohemia.cz/produkty/](http://www.klas-bohemia.cz/produkty/) [cit. 2013-12-21]
10. Traktor Zetor Proxima [online]. Dostupné z [://www.nekvinda.cz/traktory-zetor-2.html](http://www.nekvinda.cz/traktory-zetor-2.html) [cit. 2013-12-20]
11. Traktor Zetor [online]. Dostupné z [://www.zetor.cz/produkty](http://www.zetor.cz/produkty) [cit. 2013-12-20]
12. DOLÁK, Jaroslav, *Výběr cisternového návěsu pro přepravu pohonných hmot*, ČZU Praha, Provozně-ekonomická fakulta, Katedra systémového inženýrství, 2012, Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Houška Ph.D.
13. RAUVOLFOVÁ, Nicole, *Výběr zahradního traktoru pro obec Malotice*, ČZU Praha, Provozně-ekonomická fakulta, Katedra systémového inženýrství, 2012, Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Houška Ph.D.

14. VRÁBLÍKOVÁ, Michaela, *Aplikace rozhodovacích modelů pro výběr nákladního vozu*, ČZU Praha, Provozně-ekonomická fakulta, Katedra systémového inženýrství, 2012, Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Houška Ph.D.
15. RŮŽEK, Luboš, *Výběr stavební techniky pro firmu RL-Stav s.r.o.*, ČZU Praha, Provozně-ekonomická fakulta, Katedra systémového inženýrství, 2012, Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Houška Ph.D.

7. Seznam tabulek, schémat a obrázků

Seznam tabulek

Tabulka č. 2: Přehled vybraných parametrů traktorů

Tabulka č. 2: Stanovení váhy u varianty New Holland T 5040

Tabulka č. 3: Stanovení váhy u varianty Case Farmall 85 A

Tabulka č. 4: Stanovení váhy u varianty McCormick X 5020

Tabulka č. 5: Stanovení váhy u varianty Claas Axos 320

Tabulka č. 6: Stanovení váhy u varianty Zetor Proxima 80

Tabulka č. 7: Stanovení kritérií výběru (K) a hodnot jednotlivých variant (T)

Tabulka č. 8: Stanovení vah pomocí Saatyho metody

Tabulka č. 9: Vícekriteriální matice

Tabulka č. 10: Standardizovaná kritériální matice včetně funkce užitku

Tabulka č. 11: Výsledné pořadí dle hodnoty užitku

Tabulka č. 12: Párové porovnání variant podle kritéria cena

Tabulka č. 13: Párové porovnání variant podle kritéria servis

Tabulka č. 14: Párové porovnání variant podle kritéria výkon

Tabulka č. 15: Párové porovnání variant podle kritéria poloměr otáčení

Tabulka č. 16: Párové porovnání variant podle kritéria výška

Tabulka č. 17: Párové porovnání variant podle kritéria hmotnost

Tabulka č. 18: Výpočet užitku jednotlivých variant metodou AHP

Tabulka č. 19: Pořadí variant metodou AHP

Tabulka č. 20: Normalizovaná kritériální matice

Tabulka č. 21: Normalizovaná vážená kritériální matice

Tabulka č. 22: Výsledný přehled pořadí variant

Seznam schémat

Schéma č. 1: Hierarchická struktura metody AHP

Schéma č. 2: Hierarchická struktura AHP pro výběr traktoru

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Traktor New Holland T 5040

Obrázek č. 2: Case Farmall 85 A

Obrázek č. 3: Traktor McCormick X 5020

Obrázek č. 4: Traktor Claas Axos 320

Obrázek č. 5: Traktor Zetor Proxima 80

Obrázek č. 6: Zetor Proxima 80