

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Bakalářská práce

Výběr dronu pro filmové účely pomocí metod VAV

Radek Hošna

©2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Radek Hošna

Informatika

Název práce

Výběr dronu pro filmové účely pomocí metod VAV

Název anglicky

Drone selection for filming purposes by MCDM methods

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je výběr dronu pro filmové účely pomocí metod vícekriteriální analýzy variant na základě kritérií stanovených zadavatelem.

Dílním cílem je zhodnocení výsledku výběru z hlediska platné legislativy a formulace doporučení pro řádné užívání dronu.

Metodika

Cíle bude dosaženo pomocí praktické aplikace metod vícekriteriální analýzy variant s následujícím postupem:

1. Literární rešerše

- Model vícekriteriální analýzy variant
- Metody pro stanovení vah kritérií
- Metody výběru kompromisní varianty
- Základní charakteristiky dronů

2. Případová studie

- Charakteristika zadavatele
- Stanovení kritérií a variant
- Výběr kompromisního řešení pomocí vybraných metod

3. Závěr a zhodnocení výsledků

- Interpretace a diskuse řešení

- Závěr a zhodnocení dosažení cíle práce



Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

vícekriteriální analýza variant, kritérium, varianta, dron, bezpilotní letoun

Doporučené zdroje informací

GROS, I., DYNTAR, J. (2015): Matematické modely pro manažerské rozhodování. 2., upr. a rozš. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, ISBN 978-80-7080-910-5

KOCOUREK, J.; ŘEŠÁTKO, J. (2019): Drony: praktická příručky pro majitele dronů DJI. Telink, ISBN 978-80-7346-228-4

ŠUBRT, T. a kol. (2015): Ekonomicko-matematické metody. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, ISBN 978-80-7380-563-0

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Martina Houšková Beránková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 23. 11. 2023

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 11. 2023

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 08. 02. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Výběr dronu pro filmové účely pomocí metody VAV" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.03.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Martině Houškové Beránkové, Ph.D. za její vedení, odborné rady a podporu během celého procesu tvorby práce. Její odborné znalosti a vstřícnost byly pro mě klíčovými průvodci při zkoumání a formování tématu. Dále bych rád poděkoval Bc. Marku Pěnkavovi a Ing. Kristýně Fryčové, za jejich cenné připomínky, podněty a diskuse, které obohatily obsah mé práce. Také bych rád poděkoval své rodině a přátelům za jejich neustálou podporu a trpělivost během mého studia

Výběr dronu pro filmové účely pomocí metod VAV

Abstrakt

Tato bakalářská práce se věnuje důkladnému zkoumání a aplikaci vícekritériální analýzy variant ve specifickém kontextu výběru filmařských dronů. S hlavním cílem analyzovat různé metody stanovení vah kritérií, metody agregace kritérií a metody výběru kompromisní varianty, práce se záměrně zaměřuje na potřeby a výzvy spojené s filmařským nasazením těchto technologií. Literární rešerše, obsažená v práci, poskytuje komplexní pohled na historii dronů, jejich vývoj a různé typy, s důrazem na specifika filmové produkce. Podrobně jsou rozebírána kritéria pro výběr filmařského dronu, zahrnující technické vlastnosti, bezpečnostní aspekty a schopnost plnit potřeby filmových tvůrců. V oblasti obrany proti dronům je práce inovativně přizpůsobena potřebám filmařského průmyslu, zkoumající možnosti radarové detekce, elektro-optických senzorů, směrových vyhledávačů RF, akustické detekce a kybernetických řešení založených na RF. Práce se také věnuje provozním aspektům a bezpečnostním opatřením spojeným s nasazením dronů ve filmové produkci. Vlastní práce přináší konkrétní přínosy pro filmový průmysl prostřednictvím aplikace vícekritériální analýzy variant při výběru filmařského dronu. Prezentuje profil rozhodovatele, klíčová kritéria a detailní analýzu dostupných variant, s cílem identifikovat optimální kompromisní řešení. Výsledky práce mohou efektivně podporovat rozhodovací procesy filmových tvůrců při výběru dronu, což povede k optimalizaci tvůrčích procesů, zvýšení bezpečnosti a celkové kvality filmových produkcí. Tato práce tak nejenom rozšiřuje teoretické a praktické poznání v oblasti výběru filmařského dronu, ale také poskytuje konkrétní rámec a doporučení pro budoucí výzkumy a inovace v oblasti filmařského využití těchto technologií.

Klíčová slova: dron, vícekritériální analýza variant, rozhodovatel, varianty, kritérium, cena, klasifikace

Drone selection for filming purposes by MCDM methods

Abstract

This bachelor's thesis is devoted to a thorough investigation and application of multi-criteria analysis of variants in the specific context of the selection of filmmaking drones. With the main goal of analyzing different methods of determining criteria weights, methods of aggregating criteria and methods of choosing a compromise variant, the work deliberately focuses on the needs and challenges associated with the filmmaking use of these technologies. The literary research contained in the work provides a comprehensive view of the history of drones, their development and different types, with an emphasis on the specifics of film production. The criteria for choosing a filming drone are discussed in detail, including technical features, safety aspects and the ability to meet the needs of filmmakers. In the field of drone defense, the work is innovatively tailored to the needs of the film industry, exploring the possibilities of radar detection, electro-optical sensors, RF direction finders, acoustic detection and RF-based cyber solutions. The work also deals with the operational aspects and safety measures associated with the deployment of drones in film production. Own work brings concrete benefits to the film industry through the application of multi-criteria analysis of variants in the selection of a filming drone. It presents the profile of the decision-maker, key criteria and a detailed analysis of the available options, with the aim of identifying the optimal compromise solution. The results of the work can effectively support the decision-making processes of filmmakers when choosing a drone, which will lead to the optimization of creative processes, an increase in the safety and overall quality of film productions. This work thus not only expands theoretical and practical knowledge in the field of filmmaking drone selection, but also provides a concrete framework and recommendations for future research and innovation in the field of filmmaking use of these technologies.

Keywords: drone, Multi-Criteria Weight Analysis, decision-maker, variants, criterion, price, classification

Obsah

1 Úvod	13
2 Cíl práce a metodika.....	14
2.1 Cíl.....	14
2.2 Metodika.....	14
3 Literární rešerše.....	15
3.1 Model vícekritériální analýzy variant	15
3.1.1 Prvky modelu vícekritériální analýzy variant.....	15
3.2 Metody stanovení vah kritérií	17
3.2.1 Saatyho metoda.....	18
3.3 Metody pro výběr kompromisní varianty	20
3.3.1 TOPSIS metoda	20
3.3.2 Metoda AHP	21
3.4 Základní charakteristiky dronů	22
3.4.1 Kategorie provozu.....	22
3.4.2 Podkategorie provozu.....	23
3.4.3 Klasifikace tříd dronů.....	23
3.4.4 Historie dronů	24
3.4.4.1 První kroky	25
3.4.4.2 První světová válka	25
3.4.4.3 20. století	25
3.4.4.4 Současnost	26
3.4.5 Vývoj dronů	26
3.4.6 Kategorie provozu.....	27
3.4.6.1 Drony na základě jejich využití	27
3.4.6.2 Drony na základě konstrukce.....	28
3.4.7 Obrana proti dronům	29
3.4.7.1 Radarová detekce	29
3.4.7.2 Elektro-optické senzory.....	29
3.4.7.3 Směrové vyhledávače RF	30
3.4.7.4 Akustická detekce	30
3.4.7.5 Kybernetická řešení založená na RF	30
4 Případová studie	32
4.1 Profil rozhodovatele	32

4.2	Kritéria.....	33
4.2.1	Cena.....	33
4.2.2	Rozlišení foto / video	33
4.2.3	Maximální rychlost	33
4.2.4	Maximální doba letu	33
4.2.5	Zorné pole.....	34
4.2.6	Váha	34
4.3	Varianty	34
4.3.1	Popis společností použitých během výběru.....	34
4.3.2	Popis variant	36
4.3.2.1	DJI M30 (varianta A)	36
4.3.2.2	DJI Mavic 3 Cine (varianta B).....	37
4.3.2.3	Autel EVO II Pro (varianta C).....	38
4.3.2.4	DJI Inspire 3 (varianta D).....	39
4.4	Stanovení vah kritérií a výběr variant	40
5	Výběr kompromisní varianty	43
5.1	Metoda TOPSIS	43
5.2	Metoda AHP	46
6	Zhodnocení výsledků	50
7	Závěr	52
8	Seznam použitých zdrojů	54
8.1	Literatura	54
8.2	Články.....	55
8.3	Internetové zdroje.....	55
9	Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk	56
9.1	Seznam obrázků	56
9.2	Seznam tabulek	56
9.3	Seznam grafů	57
9.4	Seznam zkratk	57

1 Úvod

V úvodu své bakalářské práce bych rád podrobněji vysvětlil svůj cíl práce a jeho metodiku, kterým je výběr dronu pro filmové účely pomocí metod vícekriteriální analýzy variant na základě kritérií stanovených zadavatelem a zároveň dílčím cílem je zhodnocení výsledku výběru z hlediska platné legislativy a formulace doporučení pro řádné užívání dronu.

Poté se pokusím volně přejít k teoretické části, kde bych představil model vícekriteriální analýzy variant a vysvětlil její metody hodnocení. Dále bych rád navázal na základní charakteristiku dronů od jejich historie až po současnost a následný vývoj v blízké budoucnosti. Dále bych se rád dostal k vývoji dronů jako takových tzn. představení nejvýznamnějších prodejců filmových dronů na trhu.

V další kapitole se pokusím představit typy dronů a jejich kritéria pro správný výběr dronu a v neposlední řadě bych se rád věnoval kapitole o obraně proti lidským dronům. Tímto bych ukončil teoretickou část a přešel na část praktickou. V praktické části představím profil zadavatele, kritéria, varianty a výběr kompromisního řešení. Poté se pokusím podrobně zhodnotit své výsledky práce a detailně je popsat ve svém závěru práce.

Výběr tématu mé bakalářské práce vyplynul z mé pracovní zkušenosti, kdy většina významných rozhodnutí neplynula z hodnocení možných variant a podle stanovených kritérií, ale spíše intuitivně na základě ceny a nebyla zde věnována přílišná pozornost ostatním možným kritériím, a tudíž ani variantám výběru.

Modely vícekriteriálního rozhodování zobrazují rozhodovací problémy, v nichž se důsledky rozhodnutí posuzují podle více kritérií. Zohlednění více kritérií při hodnocení vnáší do řešení problémů obtíže, které vyplývají z obecné protichůdnosti kritérií. Kdyby totiž všechna kritéria ukazovala na stejné řešení, stačilo by pro volbu nejvhodnějšího rozhodnutí jediné z nich.

Účelem modelů v těchto situacích je buď nalezení “nejlepší” varianty podle všech uvažovaných hledisek, vyloučení neefektivních variant nebo uspořádání množiny variant. Modely vícekriteriálního hodnocení variant jsou zadány pomocí konečného seznamu variant a jejich ohodnocení podle jednotlivých kritérií.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl

Cílem této bakalářské práce je výběr dronu pro filmové účely pomocí metod vícekritériální analýzy variant na základě kritérií stanovených zadavatelem.

Dílním cílem je zhodnocení výsledku výběru z hlediska platné legislativy a formulace doporučení pro řádné užívání dronu.

2.2 Metodika

Cíle bude dosaženo pomocí praktické aplikace metod vícekritériální analýzy variant s následujícím postupem:

1) Literární rešerše

Literární rešerše práce bude sloužit k popisu a rozboru modelu vícekritériální analýzy variant (VAV), metod pro stanovení vah kritérií a metod výběru kompromisní varianty. Konkrétněji pro stanovení vah zvolených kritérií jsem zvolil popis a vysvětlení postupu pro Saatyho matici, která určuje míru vah kritérií na základě vlastních preferencí mezi kritérií. Pro výběr kompromisní varianty jsem zvolil popis dvou metod, a to metody TOPSIS a metody AHP.

V neposlední řadě je v této kapitole popsány také základní charakteristika dronů, jejich dělení a historický vývoj.

2) Případová studie

Případová studie práce se zabývá charakteristikou rozhodovatele a charakteristikou výrobců a variant výběru.

Dále jsou stanovena konkrétní kritéria výběru ke konkrétním modelům dronů, které jsou za pomoci Saatyho metody vah měřeny a dle výběru kompromisní řešení je určena nejideálnější varianta.

3) Závěr a zhodnocení výsledků

Samotné zhodnocení výsledků porovnává použití metody TOPSIS a AHP a dle těchto výsledků je vybrána jedna nejlepší varianta pro rozhodovatele.

3 Literární rešerše

Tato část mé bakalářské práce se zabývá přehledem odborné literatury a odborných článků, za pomoci kterých jsou analyzovány modely a metody pro výpočet poměrných vah kritérií a metody hledání kompromisního řešení.

Dále jsou zde rozebrány drony z hlediska jejich dělení a variant a obecně jsou zde charakterizovány. V neposlední řadě je zde ve stručnosti shrnut i historický vývoj dronů a následně i obrana proti dronům.

3.1 Model vícekriteriální analýzy variant

Modely analýzy variant ve vícekriteriálním rozhodování jsou specifickým typem, který využívá více optimalizačních nebo rozhodovacích kritérií. Tyto kritéria obvykle nesouzní, což znamená, že varianta, která exceluje v jednom kritériu, nemusí být nejlepší v jiném. Hlavním cílem při řešení vícekriteriálních rozhodovacích úloh je vyřešit konflikty mezi protikladnými kritérii, a nakonec vybrat jednu "nejlepší" variantu. Tyto úlohy se rozdělují do dvou skupin podle toho, jak jsou definovány rozhodovací varianty. Pokud jsou varianty specifikovány konkrétním výčtem, jedná se o modely analýzy variant. Jestliže jsou varianty určeny pomocí souboru omezujících podmínek, pak se jedná o modely vícekriteriální optimalizace (Šubrt, 2015).

3.1.1 Prvky modelu vícekriteriální analýzy variant

Vícekriteriální analýza variantního modelu sestává z variant, které jsou omezeny konečným výčtem a jejichž počet činí m (Šubrt, 2015).

Varianty představují různé prvky, které lze smysluplně porovnávat, nebo v užším rámci, jsou brány v úvahu při výběru v určitém rozhodovacím procesu. Například při rozhodování o nákupu může zákazník vybírat mezi produkty daného typu, např. automobily, počítače a podobně (Ramík, Perzina, 2008).

Individuální varianty jsou posuzovány na základě kritérií, jejichž výčet tvoří omezenou množinu s počtem n . Tato kritéria zahrnují širokou škálu aspektů, od fyzikálních a technologických měřitelných kritérií přes ekonomické, vyjádřené peněžní částkou až po neměřitelné kritéria jako krása, vůně, morálka a podobně (Ramík, Perzina, 2008).

Vícekritériální analýzu variant lze vizualizovat a organizovat do tzv. kritériální matice Y , kde řádky odpovídají variantám a sloupce reprezentují kritéria (Šubrt, 2015).

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

(Šubrt, 2015)

Elementy matice kritérií y_{mn} obsahují informace o jednotlivých variantách v souladu s různými kritérii (Fiala, Dlouhý, 2006).

Data mohou nabývat různých forem. Kardinální informace reflektují reálné hodnoty, kterých dosáhly jednotlivé varianty v rámci hodnocení podle specifických kritérií. Ordinalní informace vyjadřují pořadí varianty vzhledem k jednotlivým kritériím. Relativní informace porovnává varianty párově v rámci jednotlivých kritérií. Kritéria, která jsou rozhodující při výběru nejvhodnější varianty, mohou být tříděna podle různých perspektiv (Šubrt, 2015).

Podle charakteru lze kritéria rozdělit na maximalizační a minimalizační. Jak již názvy naznačují, u maximalizačních kritérií se předpokládá, že nejlépe hodnocená varianta dosáhne nejvyšší hodnoty, zatímco u minimalizačních kritérií se předpokládá, že nejlépe hodnocená varianta dosáhne nejnižší hodnoty. V praxi však pro řešení konkrétních úloh často platí, že všechna kritéria mají různý charakter, tj. buď jsou maximalizační, nebo minimalizační, což obvykle není explicitně specifikováno na začátku úlohy. Z tohoto důvodu je nezbytné převést všechna zadána kritéria na maximalizační formu, což lze provést jedním ze dvou níže uvedených způsobů:

- vynásobení celého sloupce kritériální matice hodnotou -1 , transformace

$$y'_{ij} = -y_{ij} \quad (2)$$

- výpočet hodnot, které udávají zlepšení oproti nejlepší kritériální hodnotě, transformace

$$y'_{ij} = y_{ij} - \max(y_{ij}) \quad (3)$$

Důležité rozlišení kritérií je kvantitativní a kvalitativní (Šubrt, 2015).

Kvantitativní (objektivní) kritérium zahrnuje hodnoty variant, které lze vyjádřit pomocí objektivně měřitelných údajů. Naopak kvalitativní (subjektivní) kritérium

zahrnuje hodnoty variant, které nelze objektivně změřit, většinou se opírají o subjektivní odhad rozhodovatele. V modelu vícekritériální analýzy variant hraje důležitou roli pojem dominance, který označuje převahu jedné varianty nad druhou t (Šubrt, 2015).

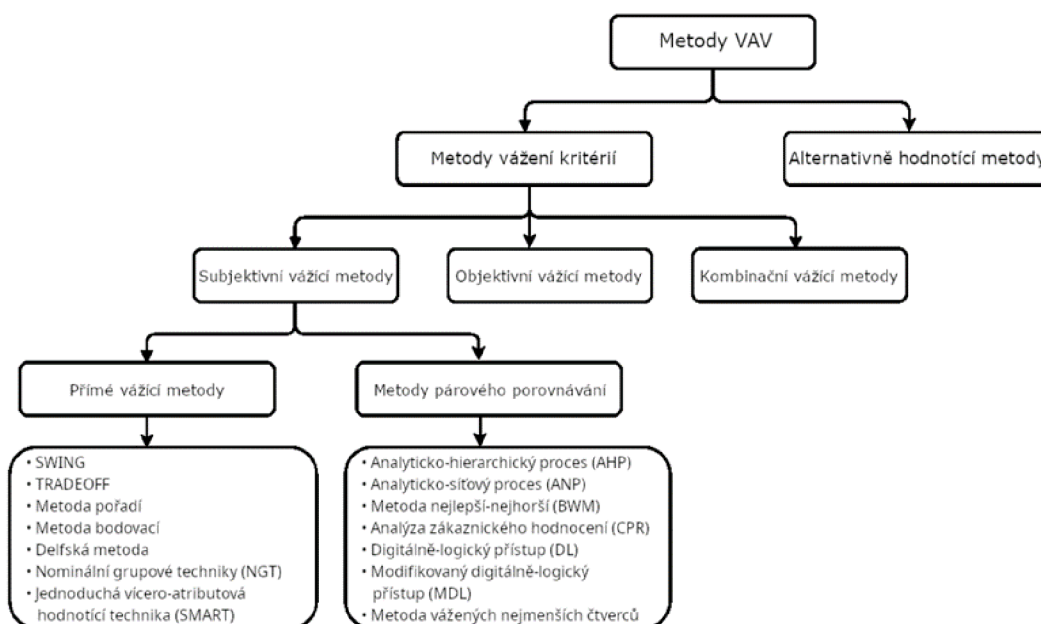
Varianta a_i dominuje variantu a_j , pokud platí $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik}) \geq (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jk})$ a existuje alespoň jedno kritérium F_1 , pro které platí, že $y_{i1} > y_{j1}$. Dominující varianta je tak hodnocena lépe alespoň podle jednoho kritéria, a zároveň je hodnocena vždy alespoň stejně nebo lépe než varianta, kterou dominuje v ostatních kritériích. Z tohoto vyplývá, že při hledání tzv. "nejlepší" kompromisní varianty lze vyloučit ty varianty, které jsou dominovány.

3.2 Metody stanovení vah kritérií

Pro kvantifikaci důležitosti jednotlivých kritérií je nutné přidělit váhy každému kritériu. K tomu účelu slouží metody stanovení vah kritérií (Šubrt, 2015).

Existují subjektivní, objektivní a kombinované subjektivní/objektivní metody pro stanovení vah kritérií. Subjektivní metody lze dále rozdělit na přímé a metody založené na párovém porovnání (Sing, Pant, 2020). Uvedené rozdělení metod je zobrazeno na následujícím obrázku:

Obrázek č. 1 – rozdělení metod



Zdroj: Sing, Pant, 2020

3.2.1 Saatyho metoda

Metoda Saatyho využívá párového kvantitativního porovnávání kritérií jako svou základní princip. (shodně Jablonský, 2007, s. 276-278 a Šubrt, 2015, s. 160-161). Pro porovnání párových kritérií se používá devítibodová stupnice a je možné používat i mezistupně (2, 4, 6, a 8):

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

Rozhodovatel analyzuje každou dvojici kritérií a zaznamená velikost preference i-tého kritéria proti j-tému kritériu v Saatyho matici $S (s_{ij})$

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ 1/s_{12} & 1 & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/s_{1n} & 1/s_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

(Šubrt, 2015)

Pokud je i-té kritérium rozhodovatele rovnocenné s j-tým kritériem, pak je hodnota s_{ij} rovna 1. V případě, že i-té kritérium má slabou preferenci před j-tým, má s_{ij} hodnotu 3. Pokud je i-té kritérium výrazně preferováno před j-tým, pak je hodnota s_{ij} rovna 5 (Jablonský, 2007, a Šubrt, 2015).

Míra konzistence je stanovena pomocí tzv. koeficientu konzistence (CR) dle následujícího vzorce (Saaty, 2008):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Kde CI představuje index nekonzistence a RI je náhodný index.

Index (CI) je vypočten podle následujícího vzorce:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Kde λ_{\max} značí největší vlastní číslo řešené matice a n představuje rozměr této matice. Hodnotu λ_{\max} lze vypočítat například pomocí kalkulátoru dostupného na internetu.

Saatyho matice je považována za dostatečně konzistentní, pokud platí CR (koeficient konzistence) $\leq 0,1$. Pro výpočet vah se využívá normalizovaný geometrický průměr řádků Saatyho matice (Jablonský, 2007, a Šubrt, 2015). V prvním kroku se vypočtou hodnoty B_i jako geometrický průměr řádků matice od Saatyho:

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n s_{ij}} \quad (7)$$

Normalizací hodnot B_i se následně vypočtou váhy:

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (8)$$

Pro dosažení do jmenovatele finálního výpočtu je zapotřebí znát hodnotu RI (random index), který je předem určený dle počtu kritérií.

Tabulka č. 1 – tabulka hodnot random indexu

Matrix size	Random consistency index (RI)
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

Zdroj: Saaty, 2008, vlastní zpracování

3.3 Metody pro výběr kompromisní varianty

3.3.1 TOPSIS metoda

Metoda TOPSIS vybírá variantu, která je nejbližší ideální variantě a zároveň nejvzdálenější od bazální varianty. Prvním krokem je transformace původní hodnoty y_{ij} na hodnoty r_{ij} podle vztahu (Jablonský, 2007).

Normalizovaná kriteriální rovnice R

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^n y_{1j}^2\right)^{1/2}} \quad (9)$$

(Jablonský, 2007)

V dalším kroku je provedeno vypočítání vážené kriteriální matice W přidáním vah jednotlivých kritérií:

$$w_{ij} = v_j r_{ij} \quad (10)$$

(Jablonský, 2007)

Ve třetím kroku jsou identifikovány ideální varianta H a bazální varianta D z prvků matice W.

$$H_j = \max_i (W_{ij}) \quad a \quad D_j = \min_i (W_{ij}) \quad (11)$$

(Jablonský, 2007)

Poté, co jsou identifikovány ideální a bazální varianty, lze vypočítat vzdálenosti jednotlivých variant od těchto ideálních a bazálních variant:

$$d_i^+ = \left[\sum_{j=1}^k (w_{ij} - H_j)^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

(Jablonský, 2007)

$$d_i^- = \left[\sum_{j=1}^k (w_{ij} - D_j)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

(Jablonský, 2007)

V následujícím kroku se vypočítá ukazatel B_i jako relativní vzdálenost od referenční varianty:

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (14)$$

(Jablonský, 2007)

Závěrečným krokem je sestavení variant v sestupném pořadí podle hodnot c_i , a poté jsou považovány varianty s nejvyššími hodnotami za řešení problému.

3.3.2 Metoda AHP

Analytický hierarchický proces (AHP) dekomponuje složitý problém na jednodušší části, čímž vytváří hierarchický systém daného problému. Na různých úrovních této hierarchie se využívá metoda kvantitativního párového porovnání podle Saatyho, aby se subjektivním hodnocením kvantifikovala důležitost jednotlivých komponent. Výsledek těchto hodnocení identifikuje komponentu s nejvyšší prioritou, která pak slouží jako řešení daného problému (Brožová, Houška, Šubrt, 2014).

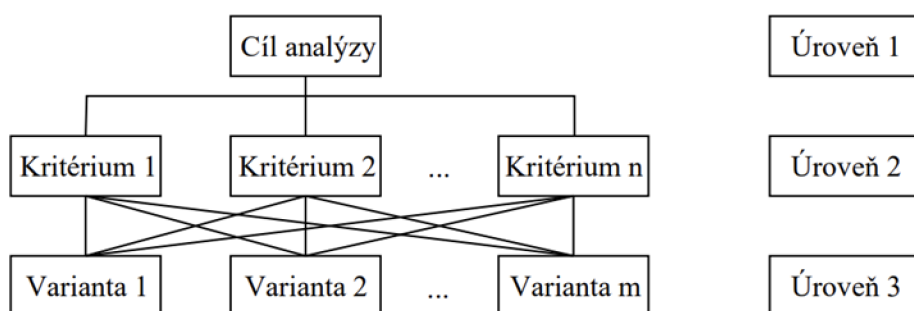
Tato metoda nabízí výhodu v tom, že je aplikovatelná na různé typy informací o preferenčních vztazích mezi částmi (komponentami) modelu. Podmínkou je, že uživatel musí být schopen určit směr a intenzitu důležitosti mezi všemi páry porovnávaných komponent modelu z poskytnutých informací (Brožová, Houška, Šubrt, 2014, s. 32).

Hierarchická struktura modelu se skládá z několika úrovní obsahujících různé prvky. Tyto úrovně jsou uspořádány od obecné ke konkrétní, což znamená, že prvky s obecnějším významem v rámci daného problému jsou umístěny na vyšší úrovni než ty s konkrétnějším charakterem. Na nejvyšší úrovni hierarchie je stanoven cíl analýzy, a tato úroveň vždy obsahuje pouze jeden prvek, kterému je přiřazena hodnota jedna. Tato hodnota je následně rozdělena mezi prvky na druhé úrovni. Hodnota každého prvku se postupně dělí na nižší úrovně, až se dostaneme k ohodnocení jednotlivých variant na nejnižší úrovni (Brožová, Houška, Šubrt, 2014).

Proces vícekriteriální analýzy variant zahrnuje následující úrovně (Brožová, Houška, Šubrt 2014):

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

Obrázek č. 2 – Hierarchická struktura úlohy vícekriteriální analýzy variant



Zdroj: Brožová, Houška, Šubrt. 2014

3.4 Základní charakteristiky dronů

V této kapitole popisují základní charakteristiku dronů, tedy konkrétněji rozebírám jednotlivé kategorie dronů, jejich podkategorie a rozdělení do sekcí A1 – A3, dále do tříd C0 – C6. V neposlední řadě líčím popis konstrukce a vývoj historický a také ve stručnosti jakousi obranu proti donům.

3.4.1 Kategorie provozu

- Otevřená kategorie:

Tato kategorie zahrnuje operace s nízkým rizikem. Pro provoz v této kategorii nejsou obvykle vyžadovány certifikace nebo povolení od orgánů civilního letectví. Podléhá však několika jednoduchým pravidlům, jako je maximální hmotnost dronu, maximální výška letu a vzdálenost od operátora. (Kocourek, Řesátko, 2019)

- Specifická kategorie:

Pro operace s vyšším rizikem, které nespádají do otevřené kategorie, je určena specifická kategorie. V této kategorii jsou vyžadovány certifikace a povolení pro provoz dronu. Operátoři musí splnit konkrétní technické a operační požadavky.

- Certifikovaná kategorie:

Certifikovaná kategorie je nejvyšší úroveň provozu dronů, a to pro operace s vysokým rizikem nebo v blízkosti lidí. Pro tuto kategorii jsou nutné certifikáty pro drony, piloty a také infrastrukturu. Certifikovaná kategorie je určena pro profesionální operace, jako jsou průmyslová inspekce, dodávky nebo lékařská evakuace (Kocourek, Řesátko, 2019).

3.4.2 Podkategorie provozu

Podkategorie provozu dronu jsou důležité pro bezpečné a zodpovědné létání. V rámci otevřené kategorie se drony dělí do tří podkategorií (caa.cz, 2024):

- A1:

Tato podkategorie je určena pro drony do 500 gramů. Piloti musí splnit několik povinností, jako je registrace, absolvování základní zkoušky a dodržování pravidel letu. Drony v této kategorii mohou létat maximálně do 120 metrů nad zemí.

- A2:

Pro drony s hmotností od 500 gramů do 2 kg. Piloti musí absolvovat speciální školení a mohou létat ve vzdálenosti minimálně 30 metrů od osob. Maximální výška letu je 50 metrů nad zemí.

- A3:

Tato podkategorie je pro drony s hmotností od 2 kg do 25 kg. Piloti musí získat Oprávnění k letu od Úřadu pro civilní letectví (ÚCL). Drony mohou létat ve vzdálenosti minimálně 150 metrů od osob a maximálně do 120 metrů nad zemí (caa.cz, 2024).

3.4.3 Klasifikace tříd dronů

C0 až C6 se používá pro definici kategorií dronů podle jejich hmotnosti a schopností. Tato klasifikace je součástí evropské legislativy o bezpilotním letectví (Nařízení EU 2019/947; djiitelink.cz, 2024).

- Třída C0:

Drony této třídy jsou obvykle velmi lehké a mají nízký potenciál zranění v případě kolize s lidmi nebo jinými objekty. Jsou vhodné pro domácí a rekreační použití.

- Třída C1:

Drony této třídy jsou stále relativně lehké, ale mají vyšší hmotnost než třída C0. Přesto mají nízký potenciál zranění a jsou vhodné pro rekreační a amatérské použití. Platí pravidla pro třídu Open.

- Třída C2:

Drony této třídy mají vyšší hmotnost a mohou být používány pro některé profesionální účely. Operátoři v této třídě musí dodržovat pravidla pro třídu Open.

- Třída C3:

Tato třída zahrnuje drony střední hmotnosti, které mohou být využívány pro komerční operace, včetně průmyslových inspekcí. Operátoři musí splnit podmínky pro třídu Specific.

- Třída C4:

Drony třídy C4 jsou těžší a jsou vhodné pro profesionální a komerční aplikace. Operátoři musí získat certifikát a dodržovat pravidla třídy Certified.

- Třída C5:

Zahrnuje velké drony, které mohou mít výrazné rozměry. Jsou určeny pro profesionální a specializované průmyslové aplikace. Operátoři musí mít certifikát a dodržovat pravidla třídy Certified.

- Třída C6:

Speciální kategorie pro drony s vysokým rizikem: Popis: Tato třída zahrnuje drony s vysokým rizikem, které mohou být používány v extrémních situacích nebo s neobvyklými vlastnostmi. Pro jejich provoz jsou vyžadovány speciální povolení a certifikace. (djitelink.cz, 2024)

3.4.4 Historie dronů

Drony neboli bezpilotní letadla, jsou fascinující technologický vynález, který se stal nesdílou součástí moderního světa. Přestože se mohou zdát jako produkt 21. století, jejich kořeny sahají až do 19. století (Seth J. Frantzman, 2023).

3.4.4.1 První kroky

První pokusy o vytvoření dronů se datují do konce 19. století, kdy inženýři experimentovali se sterovacími balony. V roce 1898 Nikola Tesla vyvinul první model lodi ovládaný na dálku, který lze považovat za předchůdce dnešních dronů (Seth J. Frantzman, 2023).

3.4.4.2 První světová válka

První dron vymyslel a sestavil anglický inženýr, fyzik a vynálezce Archibald Montgomery Low už v roce 1916 a nazval ho jako „letecký cíl“. Během první světové války bylo zkonstruováno několik dalších modelů (Seth J. Frantzman, 2023).

Není potřeba být génius, aby člověk pochopil, že vývoj dronů hlavně zrychlila válka a snaha o minimalizaci lidských ztrát během průzkumných nebo bojových misí. Již během první světové války probíhal v USA výzkum bezpilotních letounů jako reakce na bombardování řízenými bombami z německých vzducholodí. Původní myšlenkou byly spíše létající bomby, podobné jakési kamikadze letadélku (Seth J. Frantzman, 2023).

Obrázek č. 3 - Dron Beechcraft MQM-61A Cardinal, konec 50. let



Zdroj: Google obrázky (2024)

3.4.4.3 20. století

Vojenský sektor převzal iniciativu ve vývoji raných dronů v 20. století. Pokud jde o technickou stránku věci, horkovzdušné balóny bez posádky, které Rakousko-Uhersko použilo při útoku na nepřátelské síly bránící se v Benátkách v roce 1849, mohou být považovány za předchůdce dronů (Drony: Bitvy budoucnosti, Seth J. Frantzman, 2023).

V třicátých letech 20. století sloužily drony s přezdívkou "Včelí královna" britskému královskému námořnictvu jako vhodné terče pro cvičení střelby na letící cíle. V padesátých a šedesátých letech pak americká armáda využívala drony Ryan Firebee (Ryanovy ohnivé včely) pro trénink střelby a simulaci reakcí pilotů na naváděné střely (Seth J. Frantzman, 2023).

3.4.4.4 Současnost

V dnešní době se drony staly nedílnou součástí mnoha odvětví lidské činnosti. Nacházejí uplatnění v armádě, zemědělství, filmovém průmyslu, logistice a řadě dalších oblastí. Jejich význam a využití neustále rostou, a očekává se, že v budoucnosti budou zastávat ještě důležitější roli (Jakub Karas, 2016).

V logistice a dopravě mohou drony zrychlovat a zefektivňovat dodávky, přičemž snižují náklady a zlepšují dostupnost. Jejich schopnost dosáhnout do obtížně přístupných oblastí nebo monitorovat rozsáhlá území z vyvýšené perspektivy znamená, že jsou cenným nástrojem pro různé odvětví. Očekává se, že s dalším technologickým rozvojem budou drony hrát ještě větší roli v našem každodenním životě a přinesou nové možnosti a výhody do různých oblastí lidské činnosti (Jakub Karas, 2016).

3.4.5 Vývoj dronů

Ke konci 19. století přišel Nikola Tesla s revolučním vynálezem – prvním dálkově ovládaným létajícím objektem. V roce 1898 získal patent na teleautomatizaci, což představovalo dálkově ovládanou motorovou loďku. Tesla se stal průkopníkem v oblasti elektřiny a bezdrátové komunikace. Jeho nápad na dálkově ovládaný létající objekt jasně ukazuje jeho vizi a schopnost předvídat budoucí technologické možnosti. Patent na teleautomatizaci, zahrnující dálkově ovládanou motorovou loďku, představoval krok směrem k automatizaci a vzdálenému ovládaní. Tyto koncepty se následně staly klíčovými v oblasti robotiky a bezpilotních systémů (Jakub Karas, 2016).

Během První světové války vytvořil anglický inženýr, fyzik a vynálezce Archibald Montgomery Low prvního drona v roce 1916, který pojmenoval „vzdušný cíl“. To byl průlomový moment, kdy začala éra bezpilotních letounů. Během této války bylo vyvinuto několik dalších modelů dronů, což přineslo nové strategické možnosti v oblasti průzkumu a bojových operací. Drony se staly klíčovým prvkem v boji a sledování nepřítele, a jejich nasazení otevřelo nové dimenze vojenské technologie. Jejich rychlý

vývoj v této éře měl vliv na budoucnost vojenských a civilních aplikací bezpilotních systémů (Jakub Karas, 2016).

Ve 20. století začal vývoj prvních dronů, které byly integrovány do vojenských strategií. V padesátých a šedesátých letech byly drony aktivně nasazovány americkou armádou k průzkumu a špionáži (Jakub Karas, 2016).

90. léta: Pentagon začal využívat sledovací drony k monitorování událostí během válečného konfliktu v Bosně a Kosovu. Sledovací drony, nasazené Pentagonem v této době, umožnily precizní a neinvazivní sledování událostí v oblasti Bosny a Kosova. Tato technologická inovace poskytla vojenským silám důležitý nástroj k získávání informací a monitorování situace v obtížně dostupných či nebezpečných oblastech, což přispělo k lepšímu porozumění situace a informovaným strategickým rozhodnutím (Jakub Karas, 2016).

V 21. století se drony staly běžným prvkem moderní technologie, nacházejícím široké uplatnění od vojenských operací po komerční a rekreační účely (Jakub Karas, 2016).

3.4.6 Kategorie provozu

V této kapitole se zabírám popisem a rozdělením dronů na základě jejich využití a na základě jejich konstrukce.

3.4.6.1 Drony na základě jejich využití

- Open:

Tyto bezpilotní letouny jsou navrženy pro každodenní, volnočasové využití¹. Tato skupina zahrnuje většinu bezpilotních letadel určených pro rekreační účely, jako je například natáčení videí a fotografií (Brian Halliday, 2017).

- Specific:

Bezpilotní letouny v této specifické kategorii jsou navrženy pro profesionální nasazení a obvykle vyžadují speciální povolení. Tyto drony mohou být využity pro různorodé účely, včetně průmyslových inspekcí, zemědělství, záchranných operací a dalších komerčních aplikací (Brian Halliday, 2017).

- Certified:

Tato kategorie je momentálně koncipována s futuristickým zaměřením a bude zahrnovat certifikované drony určené k přepravě osob nebo nákladu (Brian Halliday, 2017).

3.4.6.2 Drony na základě konstrukce

- Vrtulníkové drony:

Tyto drony mají rotory podobné vrtulníkům, což jim umožňuje vertikální vzlet a přistání. Jsou schopny měnit svou polohu v letu a jsou vhodné pro stabilní snímání nebo průzkum (Mark Smith, 2015).

- Letounové drony:

Tyto drony mají konstrukci podobnou letadlům. Používají křídla k vytváření vztlaku a pohání je obvykle motory s vrtulí. Jsou efektivní pro dlouhé vzdálenosti a větší rychlosti (Mark Smith, 2015).

- VTOL (Vertical Take – Off and Landing) drony:

Tato kategorie zahrnuje drony, které mohou vzlétnout a přistát vertikálně, ale během letu přecházejí do horizontální polohy podobné letadlům. Tato kombinace umožňuje flexibilitu v různých situacích (Mark Smith, 2015).

- Přenosné drony:

Přenosné drony jsou obvykle menší a lehčí, což umožňuje snadný transport. Tyto drony jsou často navrženy s důrazem na přenosnost a pohodlí při používání (Cinnamon, 2016).

- Plovoucí drony:

Některé drony jsou navrženy tak, aby mohly vzlétnout a přistát na hladině vody. Tyto drony mohou být užitečné pro průzkum nebo monitorování vodních prostředí (Cinnamon, 2016).

- Přepravní drony:

Tento typ dronů je navržen pro přepravu nákladu, ať už jsou to malé balíčky, léky nebo jiné předměty. Jsou využívány pro rychlou a efektivní distribuci zboží (Cinnamon, 2016).

- Bezpilotní vrtulníky (UAV):

Tato obecná kategorie zahrnuje všechny drony bez posádky, bez ohledu na konkrétní konstrukci. UAV mohou spadat do různých podkategorií v závislosti na svých schopnostech a účelu (Mark Smith, 2015).

Obrázek č. 4 - DJI Mavic Air 2 (nejznámější multikoptéra)



Zdroj: Google obrázky (2024)

3.4.7 Obrana proti dronům

V této kapitole se ve stručnosti zabírám popisem obrany proti vzdušným dronům.

3.4.7.1 Radarová detekce

- Radarová detekce – starší technologie s dlouhým dosahem
- Moderní protidronové radary – využívají pokročilé technologie, ale mohou zaměňovat drony s jinými létajícími objekty
- Vliv počasí a prostředí – radarová detekce je omezena deštěm, mlhou, lomem a odrazem signálů

3.4.7.2 Elektro-optické senzory

Elektrooptické senzory jsou používány k identifikaci dronů, ale obvykle jsou spouštěny jinými systémy pro detekci a sledování, jako jsou radary. Když jsou kombinovány s radary, slouží jako validační technologie ke snížení počtu falešných detekcí. Tyto senzory používají sofistikované elektrooptické infračervené termální kamery (EO/IR) k identifikaci dronů na základě jejich vizuálních a teplotně podmíněných identifikátorů, ověřují, že každý detekovaný objekt je skutečně dron.

Největší nevýhodou řešení EO/IR pro detekci je, že vyžadují jasný a přímý zorný úhel, což není vždy možné v hustě osídlených nebo městských prostředích. Tmavost, mlha a déšť také mohou omezit účinnost detekčních řešení EO/IR. Navíc spoléhání na EO senzory pro ověření může vyžadovat lidský zásah v reálném čase k určení, zda se jedná o dron, což vyžaduje neustálé lidské zdroje (d-fendsolutions.com, 2024).

3.4.7.3 Směrové vyhledávače RF

Směrové vyhledávače RF využívají senzory k detekci a sledování UAV. Monitorují běžná frekvenční pásma, která mohou porovnat s knihovnou profilů řídicích signálů dronů, aby klasifikovaly tyto typy signálů a odhadly radiální směr, odkud signály pocházejí. Použití měření z více senzorů pomáhá zúžit možnou polohu dronu, což je užitečné při sledování a při přechodu od detekce k omezení. Směrové vyhledávače jsou však omezeny pouze na detekci a některé omezené sledování, bez identifikace. Nemusí být schopny identifikovat konkrétní vzdušné rámy nebo poskytovat nejpřesnější reálnou polohu dronu. Navíc ve městských a složitých terénech mohou směrové vyhledávače ukazovat špatný směr kvůli odrazům RF signálů od objektů, jako jsou budovy nebo hory.

Směrové vyhledávače nemusí vždy poskytovat nejpřesnější polohu, protože jejich prostorové rozlišení je omezeno. K určení přibližné polohy dronu je potřeba více směrových vyhledávačů. V závislosti na schématu nasazení a oblasti letu dronu může být nutné složitě nasazení více senzorů s různou přesností (d-fendsolutions.com, 2024).

3.4.7.4 Akustická detekce

Akustické detekční systémy spoléhají na zvukový popis dronu a jeho motorů. Akustické senzory mohou porovnávat zvuky, které drony produkují, s knihovnou zvuků dronů. Jsou mobilní a snadno nasaditelné. Akustická řešení jsou neúčinná v hlučném prostředí – jako jsou letiště, venkovní stadiony, arény a nelze je spolehlivě použít pro směrové vyhledávání, lokalizaci ani identifikaci dronů (d-fendsolutions.com, 2024).

3.4.7.5 Kybernetická řešení založená na RF

Pokročilá kybernetická řešení založená na radiofrekvenční (RF) technologii jako například EnforceAir od společnosti D-Fend Solutions pasivně a nepřetržitě skenuje a detekuje unikátní komunikační signály používané komerčními drony, aniž by docházelo k falešným poplachům. Jakmile jsou detekovány, řešení dokáže pochopit informace

a protokoly dronů, provést klasifikaci a označit konkrétní drony jako autorizované nebo neautorizované. Systém dokáže určit typ dronu a jeho přesnou polohu. To zahrnuje místo vzletu a často také polohu pilota v reálném čase, což může pomoci bezpečnostním orgánům při řešení situace s drony. Kybernetická řešení nevyžadují tiché prostředí ani přímý zorný úhel.

RF kybernetická řešení mohou být ovlivněna poměrem signál/šum, ale často se také snižuje dosah letu dronu na stejné úrovni RF šumu. Detekční vzdálenost může být také ovlivněna frekvenčním pásmem, ve kterém dron pracuje (d-fendsolutions.com, 2024).

Kybernetická řešení jsou holistická, což znamená, že detekce a omezení mohou být integrovány tak, aby nabídly intuitivní protidronové řešení od začátku do konce. Kybernetická technologie používaná pro detekci, sledování a identifikaci neposkytuje falešné detekce. EnforceAir od společnosti D-Fend Solutions poskytuje přesnou polohu, není ovlivněn počasím a může pracovat bez přímého zorného úhlu. Navíc není potřeba lidský zásah k identifikaci hrozeb. RF kybernetický převzetí se zaměřuje na konkrétní komerční drony založené na RF a překonává jejich specifické protokoly (d-fendsolutions.com, 2024).

Závěrem, RF kybernetická detekce nové generace poskytuje přesnou detekci bez nutnosti přímého zorného úhlu a může být plně integrována, pokud je to povoleno s kybernetickým omezením pro komplexní řešení. Tato technologie eliminuje falešné pozitivní detekce, poskytuje přesné informace o poloze a je účinná i v hlučném prostředí. RF kybernetická detekce může určit nejen polohu dronu, ale také jeho vzlet (d-fendsolutions.com, 2024).

4 Případová studie

Cílem této případové studie a rovněž cílem výběru varianty dronu je na základě reálných metod zjistit, jaký typ dronu je za daných kritérií ten nejlepší možný a poskytnout tak rozhodovateli argumenty, které budou podloženy reálnými výpočty.

4.1 Profil rozhodovatele

Rozhodovatel, jmenovitě Pavel, působí ve filmařském průmyslu a nyní stojí před rozhodnutím, který dron si pořídit pro účely filmařského natáčení. Pro výběr existuje mnoho kritérií, avšak je poměrně složité bez analýzy stanovit váhu, důležitost a preference.

Pavel, energický muž ve věku 34 let, v sobě spojuje komplexní technické dovednosti s neomezeným kreativním potenciálem. Jeho nejnovějším projektem se stává tvorba krátkých filmů, konkrétně reklamních spotů, které chce prezentovat na svém Facebookovém profilu a dalších sociálních médiích. Jeho vizí je zachytit neopakovatelnou krásu horské přírody a působivé večerní krajiny z pohledu dronu, přinášejíc tak divákům unikátní zážitky. Zkušenosti Pavla s drony se do této chvíle omezovaly na menší hobby drony, vhodné spíše pro rekreační účely. Nicméně nyní má odhodlání posunout se na vyšší úroveň. Touží po profesionálním dronu, který mu umožní nejen širší záběry, ale také pomůže zachytit detaily s maximální kvalitou. Otevřeným pohledem k novým výzvám prokazuje ochotu investovat čas a úsilí do odborného školení a získání případných certifikací, čímž chce zajistit nejen svou bezpečnost, ale i schopnost pracovat s pokročilým dronovým vybavením. Pavel není pouze technik s kladivem a šroubovákem; jeho kreativní myšlení ho žene k tomu, aby z každého záběru vytvořil umělecké dílo. Jeho přístup k tvorbě filmu je kombinací precizních technických detailů a vášnivé snahy vyjádřit jedinečný příběh. S novým, pokročilým dronem a rozšířenými dovednostmi se Pavel chystá zaujmout online publikum nejen svou technickou zručností, ale také schopností zachytit nádherné momenty, které mohou být přehlédnuty běžným pohledem lidského oka. Jeho cesta k dokonalosti v oblasti dronového natáčení se stává nejen vlastním dobrodružstvím, ale také inspirací pro všechny, kteří sledují jeho kariérní vzestup.

4.2 Kritéria

Zvažováno bylo celkem šest kritérií pro nalezení vhodných faktorů pro řešení daného rozhodovacího problému. Avšak do konečného seznamu hodnotících kritérií bylo zařazeno pouze pět z nich. V následující kapitole budou všechna tato kritéria podrobně definována. Dále bude kritériím přidělena jejich povaha, tedy MAX a MIN.

4.2.1 Cena

Jedná se o nákladové kritérium, které je nesporně jedním z nejdůležitějších faktorů při výběru optimální varianty. Pořizovací náklady zatěžují odběratele z ekonomického hlediska, neboť se jedná o částky v řádu stovek tisíc korun za kus (např. dron). Do kritéria ceny je také nutné zahrnout případnou formu financování, například úvěrem, z něhož plynou další náklady v podobě úroků. Toto kritérium můžeme označit za minimalizační.

4.2.2 Rozlišení foto / video

Rozlišení fotoaparátu a videa u filmařského dronu je klíčovým faktorem, který ovlivňuje kvalitu záznamu. Jako jsou například tyto aspekty. Rozlišení fotografií, rozlišení videa, počet snímků za sekundu (FPS), světelnost objektivu, stabilizace obrazu, foto a video formáty (JPEG, MP4, MOV, DNG, RAW nebo TIFF). Zde mluvíme o maximalizačním kritériu.

4.2.3 Maximální rychlost

Maximální rychlost dronu je velice důležitým faktorem při rozhodování o výběru. Popisuje, jakou nejvyšší rychlostí je dron schopný letět v přímém směru. Nejčastěji se udává v jednotkách m/s nebo km/h. Důležitá je kvalitní stabilizace a plynulost záběru. Toto kritérium považujeme také za maximalizační.

4.2.4 Maximální doba letu

Dalším faktorem, který nás ovlivňuje při správném výběru, je dolet dronu. Dolet nám určuje, jak daleko může dron letět bez nutnosti návratu. To je klíčové pro různé aplikace, jako je fotografování, mapování, průzkum nebo doručování. Dlouhý dolet umožňuje létat i za hranicí přímého vizuálního spojení, což je důležité z hlediska legislativy, bezpečnosti a kvality signálu. Většina „seriózních“ dronů má dolet v řádu kilometrů, což umožňuje širokou škálu aplikací. Toto kritérium taktéž považujeme za maximalizační.

4.2.5 Zorné pole

Zorné pole je takový úhel viditelnosti, kterým dron pokrývá svůj okolní prostor. Jedná se o důležitý parametr v rozhodování s mnoha aspekty. Prvním aspektem je bezpečnost, širší zorné pole umožňuje lepší sledování překážek a vyhýbání se kolizím, což považujeme za důležité pro bezpečné lítání. Dalším aspektem je manévrovatelnost, drony s užším zorným polem jsou agilnější a mohou lépe manévrovat v užších prostorech. V neposlední řadě je flexibilita a pokrytí. Čím větší zorné pole máme, tím je snazší monitorovat větší plochu. Proto toto kritérium vnímáme jako maximalizační.

4.2.6 Váha

Váha dronu je velmi důležitá, určuje nám například dolet a výdrž dronu. Lehčí drony mají obvykle delší dolet, protože mohou nést větší baterii. Stejně jako u kritéria „zorné pole“, je manévrovatelnost velice důležitá. Dalším faktorem je bezpečnost, těžší drony mohou způsobit větší škody při kolizi. Váha ovlivňuje, jakým způsobem dron reaguje na větrné podmínky. V tomto kritériu je důležitá také legislativa, v některých zemích jsou pravidla pro drony závislá na své hmotnosti. S tím úzce souvisí i transport dronu, kde lehčí drony jsou ve výhodě při snadnějším přenášení a skladovatelnosti. A tak toto kritérium považujeme za minimalizační.

4.3 Varianty

V této kapitole se věnuji popisu společností, které jsem při zpracování případové studie analyzoval, a ze kterých jsem nakonec i vybral následně popsané konkrétní varianty, jenž byly použité při výpočtech výběru kompromisní varianty.

4.3.1 Popis společností použitých během výběru

- DJI

DJI je čínská technologická společnost specializující se na výrobu dronů pro leteckou fotografii a videografii. Jejich produkty, jako DJI Phantom 4 Pro V2.0 a DJI Inspire 2, jsou oblíbené mezi profesionálními filmaři. Společnost také navrhuje kamery, stabilizátory gimbal, pohonové systémy a další vybavení pro leteckou práci. DJI má významný podíl na trhu s konzumními drony a je známá pro svou inovativní technologii.

- Autel Robotics

Autel Robotics je čínská společnost specializující se na vývoj a výrobu dronů, aerofotografických zařízení, quadcopterů a létajících kamerových systémů. Jejich produkty jsou využívány pro bezpečnostní hlídky, monitorování dopravy, inspekci a hlídání energetických zařízení, lesní inspekce, hledání a záchranné akce v terénu, mapování pozemků a další účely. Společnost byla založena v roce 2014 v Šen-čenu a její první dron s názvem X-Star byl uveden na trh v roce 2015. Mezi významné produktové řady patří Evo a Dragon Fish.

V roce 2021 měla Autel Robotics 7% podíl na trhu s bezpilotními letadly ve Spojených státech. Jejich podíl na trhu vzrostl poté, co hlavní konkurent DJI byl omezen vládou USA. Jejich drony jsou také široce využívány v amerických bezpečnostních složkách a vládních agenturách. Společnost se zaměřuje na inovativní technologie a cílí na překonání DJI jak technologicky, tak na trhu.

- Skydio

Skydio je americký výrobce dronů, který se specializuje na autonomní létání. Jejich produkty jsou výsledkem více než desetiletého výzkumu a vývoje. Zakladatelé Skydio se setkali jako doktorandé na MIT, kde společně pomohli pionýrsky vyvinout technologii autonomních dronů. Firma nabízí několik modelů, včetně Skydio 2+, který je vybaven šesti 4K kamerami a umožňuje autonomní let s 360° překážkovým vyhýbáním. Skydio také nabízí ovladače a různé režimy letu. Jejich cílem je udělat svět produktivnějším, kreativnějším a bezpečnějším pomocí autonomního létání.

- Skydio 2+

- Kamera a snímače: Skydio 2+ je vybaven šesti 4K kamerami, které umožňují 360° sledování a překážkové vyhýbání. Jeho 12MP kamera dokáže pořizovat vysokokvalitní fotografie a 4K60 HDR videa.
- Ovladač: K ovládání dronu slouží Skydio 2+ Controller. Tento standardní ovladač umožňuje připojení chytrého zařízení a snadné zachycení dat pomocí jednoduchých ovládacích prvků.
- Ovladač: K ovládání dronu slouží Skydio 2+ Contr2+ Controller: Pro podnikové operace je k dispozici 2+ Controller, který zvyšuje dosah dronu. Je vyroben z vojenských komponentů a má 6,8" ultra-jasný dotykový displej.

- Režimy letu: Skydio 2+ nabízí různé režimy letu, jako jsou Motion Track, Fixed Track, One Shots, Cable cam. Tyto režimy umožňují sledování subjektu, udržování pevné orientace nebo létání podél kabelu.

Obrázek č. 5 – Skydio 2



Zdroj: Google obrázky (2024)

4.3.2 Popis variant

V této části bakalářské práce jsou popsány čtyři možné varianty výběru filmářského dronu. U variant je popsána jejich specifikace dle prodejce.

4.3.2.1 DJI M30 (varianta A)

Dron DJI M30 není pouze profesionální letoun od společnosti DJI, jedná se o komplexní ekosystém, který zahrnuje dva drony, profesionální ovladač, software pro plánování letů a speciální stanici. S touto kombinací můžete provádět vypouštění dronů na dálku. DJI M30 je vysoce odolný (splňuje standard IP55) a zároveň skladný. Nabízí 41minut letové doby, odolnost vůči větru rychlostí až 15m/s maximální operační výšku 7 km a dosahuje maximální rychlosti 23 m/s. Cena dronu **175 990 Kč**.

Obrázek č. 6 - DJI Matrice 30



Zdroj: Google obrázky (2024)

Tabulka č. 2 – varianta A

Senzory proti překážkám	ANO
Rozlišení foto / video	48MP / 8K
Max. rychlost	82 km/h
Max. čas letu	41 min.
Zorné pole	84 °
Váha	3770 g

Zdroj: vlastní zpracování

4.3.2.2 DJI Mavic 3 Cine (varianta B)

Profesionální dron s kamerou nabízí vysoké rozlišení videa 5,1K (5120 × 2700) a maximální rozlišení fotografií 48 Mpx. Má 28× digitální zoom a stabilizaci obrazu. Vnitřní paměť má kapacitu 1024 GB, a maximální velikost SD karty je 512 GB. Dosah přenosu je 15000 m, a maximální výška letu dosahuje 500 m. Dron dosahuje maximální rychlosti 75,6 km/h a jeho doba provozu je 43 minut. Má také funkce jako detekce překážek, autopřistání, autostart, autonomní let, udržování nadmořské výšky a sledování objektů. Jeho skládací konstrukce umožňuje snadnou přepravu. Rozměry v rozloženém stavu jsou 10,77 × 29,08 × 34,75 cm (V×Š×D) a ve složeném stavu 9,54 × 9,8 × 23,11 cm (V×Š×D). Hmotnost dronu je 963 g. Cena dronu **119 990 Kč**.

Obrázek č. 7 - DJI Mavic 3 Cine



Zdroj: Google obrázky (2024)

Tabulka č. 3 – varianta B

Senzory proti překážkám	ANO
Rozlišení foto / video	48MP / 5,1K
Max. rychlost	75,6 km/h
Max. čas letu	46 min.
Zorné pole	84 °
Váha	963 g

Zdroj: vlastní zpracování

4.3.2.3 Autel EVO II Pro (varianta C)

Dron s kamerou nabízí vysoké rozlišení videa 6K (6144 × 3160) a maximální rozlišení fotografií 20 Mpx. Má 16× digitální zoom, stabilizaci obrazu, funkci panorama a 8 GB vnitřní paměť. Maximální velikost SD karty je 256 GB. Dosah přenosu dosahuje 9000 m, a maximální výška letu je 7000 m. Dron dosahuje maximální rychlosti 72 km/h a jeho doba provozu je 40 minut. Je vybaven GPS, detekcí překážek, autonomním letem a sledováním objektů. Jeho pevná konstrukce zajišťuje spolehlivost. Rozměry jsou 10,8 × 11,4 × 22,7 cm (V×Š×D) a hmotnost dronu je 1174 g. Patří do legislativní podkategorie A2. Cena dronu **54 990 Kč**.

Obrázek č. 8 - Autel EVO II Pro



Zdroj: Google obrázky (2024)

Tabulka č. 4 – varianta C

Senzory proti překážkám	ANO
Rozlišení foto / video	20MP / 5,5K
Max. rychlost	20 km/h
Max. čas letu	40 min.
Zorné pole	82 °
Váha	1191 g

Zdroj: vlastní zpracování

4.3.2.4 DJI Inspire 3 (varianta D)

Dron s kamerou nabízí vysoké rozlišení videa 8K (7680 × 4320) a maximální rozlišení fotografií 45 Mpx. Má stabilizaci obrazu a umožňuje online přenos. Maximální velikost SD karty je 1000 GB. Dosah přenosu dosahuje 15000 m, a maximální výška letu je 500 m. Dron dosahuje maximální rychlosti 94 km/h a jeho doba provozu je 28 minut. Je vybaven detekcí překážek, autopřistáním, autostartem, autonomním letem a udržováním nadmořské výšky. Jeho pevná konstrukce zajišťuje spolehlivost. Rozměry jsou 70,9 × 17,6 × 50 cm (V×Š×D) a hmotnost dronu je 4310 g. Patří do legislativní podkategorie A3. Cena dronu **369 990 Kč**.

Obrázek č. 9 - DJI Inspire 3



Zdroj: Google obrázky (2024)

Tabulka č. 5 – varianta D

Senzory proti překážkám	ANO
Rozlišení foto / video	8192×5456 px / 4K
Max. rychlost	94 km/h
Max. čas letu	28 min.
Zorné pole	161 °
Váha	3 995 g

Zdroj: vlastní zpracování

4.4 Stanovení vah kritérií a výběr variant

K určení váhy neboli důležitosti kritérií pro rozhodovatele Pavla jsem zvolil Saatyho metodu. Nejprve je nutné si sestavit Saatyho matici, která nám pomůže blíže specifikovat důležitost jednotlivých kritérií a jejich vzájemné pořadí.

V následující tabulce je tato matice sestavena a jsou do ní vneseny ta kritéria k1 až k6, které si náš rozhodovatel, tedy pan Pavel vybral.

U Saatyho matice v tabulce č. 5 si můžeme povšimnout zachycení vztahů mezi kritérii, a to za pomoci bodového dělení z hlediska preferencí či rovnocennosti. Jak již bylo zmíněno v bližším popisu Saatyho metody, tak kritériím jsou udělovány body: 1 – rovnocennost, 3 – slabá preference, 5 – silná preference, 7 – velmi silná preference a 9 – absolutní preference. Obdobně poté zrcadlově byly přidělené body opozitní, konkrétněji tedy pokud kritérium X má 3 (slabou preferenci) ke kritériu Y, tak zrcadlově přidělíme

0,33 ke vztahu kritéria Y ku kritériu X. Při dalším kroku této metody je zapotřebí, abychom vypočítali geometrický průměr.

Tabulka č. 6 – Saatyho matice s výslednou váhou kritérií

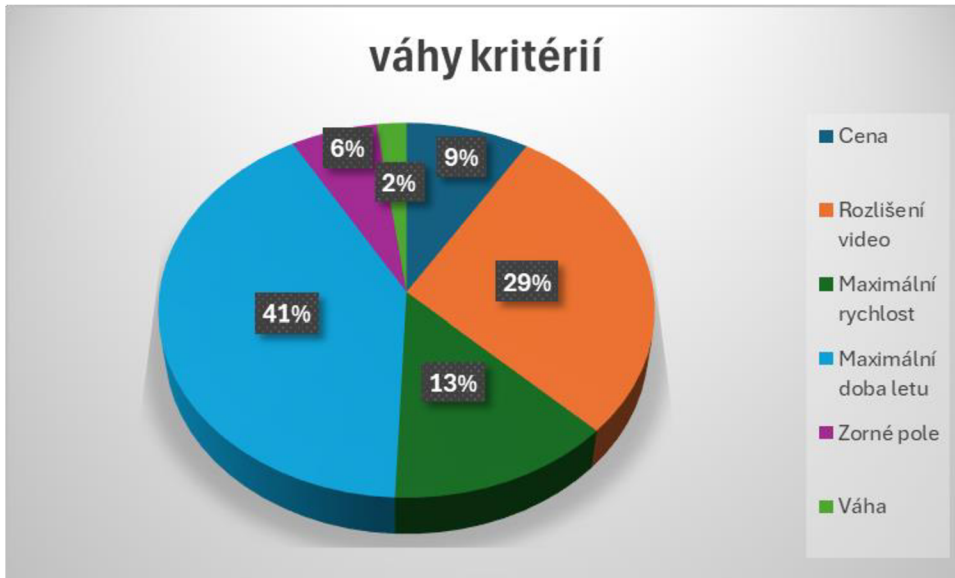
		Cena	Rozlišení video	Maximální rychlost	Maximální doba letu	Zorné pole	Váha		
		k1	k2	k3	k4	k5	k6	Geom. průměr	Váhy kritérií
Cena	k1	1,00	0,20	0,33	0,14	3,00	9,00	0,79744	0,088
Rozlišení video	k2	5,00	1,00	5,00	0,33	5,00	7,00	2,57522	0,284
Maximální rychlost	k3	3,00	0,20	1,00	0,20	3,00	9,00	1,21644	0,134
Maximální doba letu	k4	7,00	3,00	5,00	1,00	5,00	5,00	3,71411	0,410
Zorné pole	k5	0,33	0,20	0,33	0,20	1,00	7,00	0,56081	0,062
Váha	k6	0,11	0,14	0,11	0,20	0,14	1,00	0,19219	0,021
							Celkem	9,05621	1,000

Zdroj: vlastní zpracování

Další fází je výpočet samotných vah kritérií. Součet vah kritérií by měl být při svém součtu roven jedné. V tabulce č. 6 jsou zachyceny i váhy jednotlivých kritérií. Dle výsledků lze říci, že největší váhu má kritérium Maximální doba letu. Poté s hodnotou kritéria 0.284 je na druhé příčce kritérium Rozlišení video. Ostatní kritéria mají oproti těmto dvěma poměrně nižší hodnoty.

Pro výsledné váhy kritérií je vhodné použití i grafického znázornění, tedy konkrétněji koláčového grafu, na kterém je zřetelnější rozdělení vah.

Graf č. 1 – výsledné váhy kritérií



Zdroj: vlastní zpracování

V posledním kroku je zapotřebí zjistit, zdali je Saatyho matice konzistentní neboli zjistit takzvané Consistency ration. Za dostatečně konzistentní je Saatyho matice považována, pokud platí $CR \leq 0,1$. Consistency ratio Saatyho matice v našem případě vychází $CR = 0,099888$, takže lze konstatovat, že matice je konzistentní.

$$CI = \frac{(6,619306-6)}{6-1} = 0,123861$$

$$CR = \frac{0,123861}{1,24} = 0,099888$$

5 Výběr kompromisní varianty

Pro výběr kompromisní varianty existuje více výpočetních technik. Nejznámější a nejpoužívanější z nich jsou metody: AHP, PROMETHEE, TOPSIS a metoda váženého součtu. Pro účel mé bakalářské práce jsem zvolil jako vhodnou metodu právě metodu TOPSIS a metodu AHP.

5.1 Metoda TOPSIS

Jak již bylo řečeno v literární rešerši této práce, tak metoda TOPSIS vybírá variantu, která je nejbližší ideální variantě a zároveň nejvzdálenější od bazální varianty. Celkové hodnocení variant je potom založené na vzdálenosti od těchto dvou krajních případů. Čím víc se naše varianta blíží k ideální variantě, tím je její hodnocení vyšší a naopak, čím víc se naše varianta blíží k bazální variantě, tím je její hodnocení nižší.

V našem konkrétním případě je nutné si vytvořit tabulku s přehledem kritérií, variant, povahou kritérií a s váhami kritérií. Toto je zachyceno v tabulce č. 7.

Tabulka č. 7 – přehled hodnot a povah kritérií, jejich váhy a sumy

	Cena	Rozlišení video	Maximální rychlost	Maximální doba letu	Zorné pole	Váha
Varianta A	175990	8	82	41	84	3 770
Varianta B	119 990	5,1	75,6	46	84	960
Varianta C	51 990	5,5	20	40	82	1 191
Varianta D	369 990	4	94	28	161	3 995
v (váhy)	0,088	0,284	0,134	0,410	0,062	0,021
povaha	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN
SUMA	717960	23	272	155	411	9916

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce číslo 7 jsou použity konkrétní jednotky a hodnoty kritérií, které jsou uvedeny v kapitole popis variant. Dále jsou zde zaneseny váhy kritérií, které jsem získal za pomoci Saatyho matice, kdy nám dle hodnot vychází, že nejdůležitějším kritériem je kritérium maximální doba letu. Povaha kritérií je buď minimalizační anebo maximalizační na základě faktu, zdali je dané kritérium požadováno co nejmenší anebo naopak co největší.

V dalším kroku je nutné, abychom si vydělili odpovídající hodnoty sumou kritéria. Konkrétně ku příkladu u prvního kritéria Cena se výpočet provádí $175990 / 717960$. Takto postupujeme u všech kritérií. Celý tento postup a přeměna minimalizačních kritérií jsou zachyceny v tabulce č. 8.

Tabulka č. 8 – hodnoty kritérií dle variant

	Cena	Rozlišení video	Maximální rychlost	Maximální doba letu	Zorné pole	Váha
Varianta A	0,2451251	0,3539823	0,3019146	0,2645161	0,2043796	0,3801936
Varianta B	0,1671263	0,2256637	0,2783505	0,2967742	0,2043796	0,0968132
Varianta C	0,0724135	0,2433628	0,0736377	0,2580645	0,1995134	0,1201089
Varianta D	0,5153351	0,1769912	0,3460972	0,1806452	0,3917275	0,4028842

Zdroj: vlastní zpracování

V dalším kroku vynásobíme hodnoty v naší rozhodovací matici váhami jednotlivých kritérií. Jelikož TOPSIS pracuje s ideální a bazální variantou, je tedy nutné tyto varianty sestrojít. Z výsledných hodnot v tabulce č. 8 se u konkrétního kritéria hledá vždy nejvyšší číslo (pro ideální variantu, značíme H) a poté nejnižší číslo (pro variantu bazální, značíme D). Konkrétně u této tabulky se pro kritérium Cena označí Varianta C jako ideální a Varianta D jako bazální.

Tabulka č. 9 – bazální a ideální varianty

	Cena	Rozlišení video	Maximální rychlost	Maximální doba letu	Zorné pole	Váha
Varianta A	0,0215843	0,1006583	0,0405535	0,1084827	0,0126564	0,0080683
Varianta B	0,0147161	0,0641697	0,0373884	0,1217123	0,0126564	0,0020545
Varianta C	0,0063763	0,0692026	0,0098911	0,1058368	0,0123551	0,0025489
Varianta D	0,0453773	0,0503291	0,0464882	0,0740858	0,0242581	0,0085499
v (váhy)	0,088	0,284	0,134	0,410	0,062	0,021
H	0,0453773	0,1006583	0,0464882	0,1217123	0,0242581	0,0085499
D	0,0063763	0,0503291	0,0098911	0,0740858	0,0123551	0,0020545

Zdroj: vlastní zpracování

Nyní je zapotřebí si vypočítat euklidovské vzdálenosti našich reálných variant od varianty ideální. Konkrétně v našem případě se tato hodnota počítá tak, že spočítáme mocniny rozdílů hodnot. Odčítáme vždy kritéria naší reálné varianty a hodnotu kritéria varianty ideální. V tabulce č. 10 je vidět, že některé hodnoty vycházejí 0. Tyto hodnoty

znamenají, že daná varianta má pro dané kritérium stejnou hodnotu jako varianta ideální. Dále je proveden součet všech hodnot v rámci varianty a odmocněn. Tímto získáme její vzdálenost od ideální varianty (tato vzdálenost je označena d_i^+).

Tabulka č. 10 – vzdálenost od ideální varianty

	Cena	Rozlišení video	Maximální rychlost	Maximální doba letu	Zorné pole	Váha	d_i^+
Varianta A	0,0002312818	0	0,0000352202	0,0001750223	0,0001345995	0,0000361656	0,0247444820
Varianta B	0,0000695530	0,0013314200	0,0000828066	0	0,0001345995	0	0,0402290825
Varianta C	0	0,0009894620	0,0013393455	0,0002520321	0,0001416825	0,0000002444	0,0521801346
Varianta D	0,0015210807	0,0025330227	0	0,0022682892	0	0,0000421892	0,0797783288

Zdroj: vlastní zpracování

Obdobný postup je uplatněn i při výpočtu vzdálenosti od varianty bazální. Bazální varianta je v tabulce č. 11 označena d_i^- .

Tabulka č. 11 – vzdálenost od bazální varianty

	Cena	Rozlišení video	Maximální rychlost	Maximální doba letu	Zorné pole	Váha	d_i^-
Varianta A	0,0005661109	0,0025330227	0,0009401833	0,0011831508	0,0000000908	0,0000002319	0,0722688756
Varianta B	0,0009401086	0,0001915598	0,0007560992	0,0022682892	0,0000000908	0,0000421892	0,0647945739
Varianta C	0,0015210807	0,0003562063	0	0,0010081285	0	0,0000360114	0,0540502262
Varianta D	0	0	0,0013393455	0	0,0001416825	0	0,0384841258

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledné hodnocení každé varianty se poté vypočítává za pomoci vzorce:

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (15)$$

Tabulka č. 12 – výsledné hodnoty variant

VARIANTA	VÝSLEDEK	POŘADÍ
Varianta A	0,6992	1.
Varianta B	0,5326	2.
Varianta C	0,4524	3.
Varianta D	0,4433	4.

Zdroj: vlastní zpracování

Dle této metody je jasné, že čím je vzdálenost od bazální varianty větší a od ideální varianty menší, tak tím je výsledné ohodnocení větší. Konkrétně z výsledků v tabulce č. 20 můžeme konstatovat, že nejvýhodnější je varianta A, naopak nejméně výhodnou je varianta D.

5.2 Metoda AHP

S daty a váhami kritérií, které jsem získal při výpočtech z minulé Saatyho matice se dá dle obdobného přidělování vzájemných preferencí kritérií zjistit, která z našich čtyř variant k výběru bude tou nejideálnější z hlediska preferencí.

Zde je zapotřebí si sestavit matici. Tento úkon provedeme u všech kritérií zvlášť, tedy jak u kritérií minimalizačního charakteru (cena, váha), tak u kritérií maximalizačního charakteru (rozlišení video, maximální rychlost, maximální doba letu a zorné pole). Všechny tyto jednotlivé matice jsou zobrazeny v následujících tabulkách, tedy v tabulkách č. 13–18.

Tabulka č. 13 – AHP matice pro varianty, kritérium Cena

Cena		175 990,-	119 990,-	51 990,-	369 990,-	Geometrický průměr	Váha
		VA	VB	VC	VD		
175 990,-	VA	1,00	0,20	0,14	7,00	0,66874	9,81 %
119 990,-	VB	5,00	1,00	0,20	9,00	1,73205	25,40 %
51 990,-	VC	7,00	5,00	1,00	9,00	4,21287	61,79 %
369 990,-	VD	0,14	0,11	0,11	1,00	0,20493	3,01 %
					Celkem	6,81859	100,00%

Zdroj: vlastní zpracování

CR = 0,01129, matice je konzistentní.

Tabulka č. 14 – AHP matice pro varianty, kritérium Rozlišení video

Rozlišení video		8 K	5,1 K	5,5 K	4 K	Geometrický průměr	Váha
		VA	VB	VC	VD		
8 K	VA	1,00	7,00	5,00	9,00	4,21287	64,02 %
5,1 K	VB	0,14	1,00	0,33	5,00	0,69853	10,62 %
5,5 K	VC	0,20	3,00	1,00	7,00	1,43157	21,76 %
4 K	VD	0,11	0,20	0,14	1,00	0,23737	3,61 %
					Celkem	6,58034	100,00%

Zdroj: vlastní zpracování

CR = 0,03125, matice je konzistentní.

Tabulka č. 15 – AHP matice pro varianty, kritérium Maximální rychlost

Maximální rychlost		82 km/h	75,6 km/h	20 km/h	94 km/h	Geometrický průměr	Váha
		VA	VB	VC	VD		
82 km/h	VA	1,00	3,00	9,00	0,20	1,52440	22,75 %
75,6 km/h	VB	0,33	1,00	7,00	0,14	0,75984	11,34 %
20 km/h	VC	0,11	0,14	1,00	0,11	0,20493	3,06 %
94 km/h	VD	5,00	7,00	9,00	1,00	4,21287	62,86 %
					Celkem	6,70203	100,00%

Zdroj: vlastní zpracování

CR = 0,06274, matice je konzistentní.

Tabulka č. 16 – AHP matice pro varianty, kritérium Maximální doba letu

Maximální doba letu		41 min	46 min	40 min	28 min	Geometrický průměr	Váha
		VA	VB	VC	VD		
41 min	VA	1,00	0,20	3,00	7,00	1,43157	21,50 %
46 min	VB	5,00	1,00	7,00	9,00	4,21287	63,27 %
40 min	VC	0,33	0,14	1,00	9,00	0,80911	12,15 %
28 min	VD	0,14	0,11	0,11	1,00	0,20493	3,08 %
					Celkem	6,65847	100,00%

Zdroj: vlastní zpracování

CR = 0,06367, matice je konzistentní.

Tabulka č. 17 – AHP matice pro varianty, kritérium Zorné pole

Zorné pole		84°	84°	82°	161°	Geometrický průměr	Váha
		VA	VB	VC	VD		
84°	VA	1,00	1,00	3,00	0,14	0,80911	12,38 %
84°	VB	1,00	1,00	3,00	0,14	0,80911	12,38 %
82°	VC	0,33	0,33	1,00	0,11	0,33333	5,10 %
161°	VD	7,00	7,00	9,00	1,00	4,58258	70,13 %
					Celkem	6,53412	100,00%

Zdroj: vlastní zpracování

CR = 0,03372, matice je konzistentní.

Tabulka č. 18 – AHP matice pro varianty, kritérium Váha

Váha		3 770g	960g	1 191g	3 995g	Geometrický průměr	Váha
		VA	VB	VC	VD		
3 770g	VA	1,00	0,14	0,20	3,00	0,54108	8,14 %
960g	VB	7,00	1,00	5,00	9,00	4,21287	63,35 %
1 191g	VC	5,00	0,20	1,00	7,00	1,62658	24,46 %
3 995g	VD	0,33	0,11	0,14	1,00	0,26970	4,06 %
					Celkem	6,65023	100,00%

Zdroj: vlastní zpracování

CR = 0,02395, matice je konzistentní.

Výsledkem těchto výpočtů jsou váhy daných variant, které byly vypočítány konkrétně pro jednotlivá kritéria. Všechny výsledné váhy variant A–D nám poslouží společně s váhami kritérií k tomu, abychom dokázali vypočítat výsledné vyhodnocení a pořadí variant A, B, C a D. Výsledný výpočet je zachycen v tabulce č 19.

Výsledné hodnocení je hodnota, která se vypočítá dle rovnice, kdy v našem konkrétním příkladě se $a_1 = 8,81 \%$, $a_2 = 0,098076$, $b_1 = 28,44 \%$, $b_2 = 0,64022$ a takto obdobně i dále, tedy číslem 1 je označena váha kritéria a číslem 2 označená váha kritéria u konkrétní varianty.

Rovnice výpočtu:

$$(a_1 * a_2) + (b_1 * b_2) + \dots + (e_1 * e_2) + (f_1 * f_2)$$

= výsledné hodnocení

Tabulka č. 19 – Výsledné hodnocení variant dle metody AHP

Váha	8,81 %	28,44 %	13,43 %	41,01 %	6,19 %	2,12 %	Výsledné hodnocení	Pořadí
	k1	k2	k3	k4	k5	k6		
Varianta A	0,098076	0,64022	0,227453	0,215	0,123828	0,081363	31,881 %	2.
Varianta B	0,254019	0,106155	0,113374	0,632708	0,123828	0,633492	34,838 %	1.
Varianta C	0,61785	0,217553	0,030577	0,121515	0,051014	0,24459	17,856 %	3.
Varianta D	0,030055	0,036072	0,628596	0,030777	0,70133	0,040555	15,425 %	4.

Zdroj: vlastní zpracování

Dle metody AHP jsem došel k výsledku, že nejvhodnější variantou z hlediska preferencí je varianta B. Těsně druhou skončila varianta A, a s poměrně znatelným rozdílem od těchto variant zůstávají varianta C a D.

6 Zhodnocení výsledků

Ke zhodnocení a interpretaci výsledků metody výběru kompromisní varianty jsem zvolil prosté porovnání hodnot z jednotlivých metod a poté zhodnocení funkčnosti a použitelnosti metody v našem konkrétním případě. Souhrn těchto výsledků lze zachytit v tabulce níže.

Tabulka č. 20 – souhrn výsledků studie

Varianty	Model	TOPSIS	AHP
A.	DJI M30	1.	2.
B.	DJI Mavic 3 Cine	2.	1.
C.	Autel EVO II Pro	3.	3.
D.	DJI Inspire 3	4.	4.

Zdroj: vlastní zpracování

Podle metody TOPSIS vyšlo jako kompromisní řešení varianta A – DJI M30, které disponuje parametry:

Tabulka č. 21 – parametry DJI M30

Cena	Rozlišení video	Max. rychlost	Max. doba letu	Zorné pole	Váha
175 990,-	8K	82 km/h	41 min.	84°	3 777g

Zdroj: vlastní zpracování

Podle metody AHP vyšlo jako kompromisní řešení varianta B – DJI Mavic 3 Cine, které disponuje parametry:

Tabulka č. 22 – parametry DJI Mavic 3 Cine

Cena	Rozlišení video	Max. rychlost	Max. doba letu	Zorné pole	Váha
119 990,-	5,1K	75,6 km/h	46 min.	84°	963g

Zdroj: vlastní zpracování

U obou těchto zkoumaných metod nám vždy u varianty A i varianty B vyšly poměrně málo vzdálené vzájemné hodnoty, tudíž lze konstatovat, že mezi těmito

variantami nejsou prokazatelně markantní rozdíly. Obě tyto metody metod vyhodnotily stejné pořadí u varianty C a varianty D, kdy jim přidělily 3. a 4. pořadí.

Vezmeme-li v potaz porovnání pouze prvních dvou variant, tak varianta A převyšuje v kritériích Rozlišení videa a Maximální rychlost. Kritérium zorné pole má naprosto identické. Na rozdíl varianta B převyšuje v kritériích Cena, Maximální doba letu a má podstatně příznivější parametr Váha, konkrétně o 2 814 g.

Rozhodovatel Pavel po prozkoumání těchto dvou výsledků zvolil jako ideální výběr variantu B, tedy model DJI Mavic 3 Cine, neboť vyšla jako kompromisní varianta u metody AHP, a také primárně z důvodu, že Pavel bude dron pořizovat, využívat a převážet/ přenášet sám. Z důvodu pořízení pro vlastní účely natáčení krátkých filmů či reklamních spotů vyhrává varianta s nejlépe vycházejícími minimalizačními kritérii, tedy s co nejnižší vahou a s co nejnižší cenou. Pořízení varianty dronu DJI Mavic 3 Cine vyjde Pavla o 56 000,- Kč levněji a při přenášení dronu půjde o 2 814 g lehčí břemeno.

7 Závěr

Cílem této bakalářské bylo vybrat vhodný typ dronu pro osobní filmové účely rozhodovatele za pomoci metod vícekriteriální analýzy variant, a to dle předem určených kritérií, které byly vybrány rozhodovatelem. Nejprve bylo nutné provést literární rešerši, a to za účelem ucelení a vymezení vybraných metod. Poznatky získané z teoretické části bylo za cíl shrnout v části praktické a provést samotný výběr kompromisní varianty.

V literární rešerši byl popsán model vícekriteriální analýzy variant a konkrétně popsán i jeho prvky. Následně byly vysvětleny metody pro stanovení vah kritérií, konkrétněji tedy metoda Saatyho matice. Dalším krokem byl popis metod pro kompromisní výběr variant, konkrétněji jsem se zaměřil na metodu TOPSIS a na metodu AHP.

V případové studii byl zprvu identifikován rozhodovatel. V našem případě se jednalo o rozhodovatele Pavla, který se za pomoci této bakalářské práce snažil zjistit, která z vybraných variant dronu je pro jeho účely ideální. V dalším kroku byly získány potřebná kritéria, dle kterých se stanovily váhy kritérií. Váhy kritérií se stanovily za pomoci Saatyho metody, která nám určila váhy na základě vzájemných preferencí konkrétních porovnávaných kritérií v jednotlivých krocích. Výsledek Saatyho metody byl podroben CR testu, tedy consistency ratio. Hodnota CR vyšla v povolených hodnotách, a tudíž bylo možné prohlásit, že matice je konzistentní a bylo ji tedy možné využít u dalších výpočtů kompromisní varianty. K určení kompromisní varianty bylo využito dvou metod, metody TOPSIS a metody AHP.

V poslední části mé bakalářské práce byly zhodnoceny výsledky použitých dvou metod pro výběr kompromisního řešení variant a vzájemně byly porovnány. Dle metody TOPSIS vyšla jako kompromisní řešení varianta A, tedy model dronu DJI M30. Podle metody AHP vyšla jako kompromisní řešení varianta B, tedy model dronu DJI Mavic 3 Cine.

Na základě porovnání a výsledků vybral rozhodovatel variantu B, tedy model DJI Mavic 3 Cine. Tento model vyšel jako lepší variantou ve výsledku hlavně z důvodu, že rozhodovatel/pořizovatel vybíral dron pro osobní účely využívání dronu, a tak po přezkoumání upřednostnil poněkud výrazný rozdíl v pořizovací ceně dronu, a také bral v potaz markantní rozdíl v celkové váze dronu, kdy se jedná o rozdíl, který činí bezmála

3 kilogramy. Rozhodovatel byl s výsledkem případové studie spokojený, jelikož se dá laicky říci, že při koupi této varianty se jedná o dobrý poměr „cena/výkon“.

Na základě získaných výsledků a hodnot lze říci, že vytyčené cíle bakalářské práce považují za splněné.

8 Seznam použitých zdrojů

8.1 Literatura

- BROŽOVÁ, Helena; HOUŠKA, Milan a ŠUBRT, Tomáš. Modely pro vícekritériální rozhodování. Praha: Credit, 2003. ISBN 978-80-213-1019-3.
- CINNAMON, 2016. DIY Drones for the Evil Genius: Design, Build, and Customize Your Own Drones. Nakladatelství: McGraw-Hill Education. 176 s. ISBN 1259861465.
- FIALA, P. DLOUHÝ, M. 2006. Základy kvantitativní ekonomie a ekonomické analýzy. 1. vyd. Praha: Oeconomica. 165 s. ISBN 80-245-1087-1
- FRANTZMAN, Seth J. Drony: bitvy budoucnosti. Přeložil Petr KOVAŘÍK. Technologie (Zoner Press). Brno: Zoner Press, 2022. ISBN 9788074135255.
- GROS, Ivan a DYNTAR, Jakub. *Matematické modely pro manažerské rozhodování*. 2., upr. a rozš. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-910-5.
- HALLIDAY, 2017. Drones: The Professional Drone Pilot's Manual, Drones: Mastering Flight T. 1. vyd.: Nakladatelství: Createspace Independent Publishing Platform. 296 s. ISBN 1981560327.
- JABLONSKÝ, J. 2007. Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování. 3. vyd. Praha: Professional Publishing. 323 s. ISBN 978-80-8694-644-3.
- KARAS, Jakub a TICHÝ, Tomáš. Drony. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 9788025146804.
- KOCOUREK, Jaroslav a ŘEŠÁTKO, Jaroslav. *Drony: praktická příručka pro majitele dronů DJI*. Druhé vydání. Praha: TELINK, spol. s r.o., 2019. ISBN 978-80-7346-228-4.
- RAMÍK, J. PERZINA, R. 2008. Moderní metody hodnocení a rozhodování. 1.vyd. Karviná: Slezská univerzita v Opavě, Obchodně podnikatelská fakulta v Karviné. 252 s. ISBN 978-80-7248-497-3.

- SMITH, 2015. Quadcopters and Drones: A Beginner's Guide to Successfully Flying and Choosing the Right Drone. Nakladatelství: Createspace Independent Publishing Platform. 144 s. ISBN 9781514708422.
- ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.

8.2 Články

- SAATY, T. L. 2008. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process. RACSAM, 102: 251-318. <https://doi.org/10.1007/BF03191825>.
- SINGH, M., PANT, M. 2021. A review of selected weighing methods in MCDM with a case study. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 12: 126-144. <https://doi.org/10.1007/s13198-020-01033-3>.
- YANNIS, G., KOPSACHEILI, A., DRAGOMANOVITS, A., PETRAKI, V. 2020. State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 7: 413-431. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.05.005>

8.3 Internetové zdroje

- CAA, Jaké jsou požadavky v jednotlivých podkategoriích? [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/ufoqs/jake-jsou-pozadavky-v-jednotlivych-podkategoriich-otevrene-kategorie/>
- D-FENDSOLUTION, Control the drone to control the threat. [online]. [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://d-fendsolutions.com/>
- DJITELINK, Jaké nové povinnosti nás čekají při provozu dronů od 2024? [online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/jake-nove-povinnosti-nas-cekaji-pri-provozu-dronu-od-1-1-2024-p24893/>

9 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk

9.1 Seznam obrázků

- **Obrázek č. 1** – rozdělení metod
- **Obrázek č. 2** – Hierarchická struktura úlohy vícekriteriální analýzy variant
- **Obrázek č. 3** - Dron Beechcraft MQM-61A Cardinal, konec 50. let
- **Obrázek č. 4** - DJI Mavic Air 2 (nejznámější multikoptéra)
- **Obrázek č. 5** – Skydio 2
- **Obrázek č. 6** - DJI Matrice 30
- **Obrázek č. 7** - DJI Mavic 3 Cine
- **Obrázek č. 8** - Autel EVO II Pro
- **Obrázek č. 9** - DJI Inspire 3

9.2 Seznam tabulek

- **Tabulka č. 1** – tabulka hodnot random indexu
- **Tabulka č. 2** – varianta A
- **Tabulka č. 3** – varianta B
- **Tabulka č. 4** – varianta C
- **Tabulka č. 5** – varianta D
- **Tabulka č. 6** – Saatyho matice s výslednou váhou kritérií
- **Tabulka č. 7** – přehled hodnot a povah kritérií, jejich váhy a sumy
- **Tabulka č. 8** – hodnoty kritérií dle variant
- **Tabulka č. 9** – bazální a ideální varianty
- **Tabulka č. 10** – vzdálenost od ideální varianty
- **Tabulka č. 11** – vzdálenost od bazální varianty

- **Tabulka č. 12** – výsledné hodnoty variant
- **Tabulka č. 13** – AHP matice pro varianty, kritérium Cena
- **Tabulka č. 14** – AHP matice pro varianty, kritérium Rozlišení video
- **Tabulka č. 15** – AHP matice pro varianty, kritérium Maximální rychlost
- **Tabulka č. 16** – AHP matice pro varianty, kritérium Maximální doba letu
- **Tabulka č. 17** – AHP matice pro varianty, kritérium Zorné pole
- **Tabulka č. 18** – AHP matice pro varianty, kritérium Váha
- **Tabulka č. 19** – Výsledné hodnocení variant dle metody AHP
- **Tabulka č. 20** – souhrn výsledků studie
- **Tabulka č. 21** – parametry DJI M30
- **Tabulka č. 22** – parametry DJI Mavic 3 Cine

9.3 Seznam grafů

- **Graf č. 1** – výsledné váhy kritérií

9.4 Seznam zkratek

- **VAV** – Vícekriteriální analýza vah
- **AHP** – analytický hierarchický proces
- **TOPSIS** – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
- **USA** – Spojené státy americké
- **DJI** – Dà-Jiāng Innovations (název firmy)
- **HDR** – High Dynamic Range
- **FHD** – Full HD
- **VTOL** – Vertical Take – Off and Landing

- **UAV** – unmanned aerial vehicle
- **MP** – megapixel
- **ISO** – citlivost na světlo
- **FPS** – frames per second
- **RTK** – Real-Time Kinematic
- **GPS** – Global Positioning System
- **FPV** – First Person View
- **RF** – radiofrekvenční
- **GB** – gigabite
- **km/h** – kilometr za hodinu
- **min.** – minuta
- **g** – gram
- **ÚCL** – Úřad pro civilní letectví
- **MIN** – minimalizační
- **MAX** – maximalizační