

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Bakalářská práce

**Aplikace rozhodovacích modelů při výběru fotovoltaických
panelů pro solární elektrárnu**

Michal Kočí

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Kočí

Systémové inženýrství

Název práce

Aplikace rozhodovacích modelů při výběru fotovoltaických panelů pro solární elektrárnu

Název anglicky

Application of decision-making models in the selection of photovoltaic panels for a solar power plant

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je provést pomocí kvantitativních metod vícekriteriálního rozhodování efektivní výběr fotovoltaických panelů pro solární elektrárny. Hlavním záměrem práce je aplikovat různé rozhodovací modely a metody na tento proces výběru a poskytnout praktický návod pro efektivní rozhodování v této oblasti.

V praktické části bude cílem doporučit vhodné řešení na základě aplikaci rozhodovacích modelů na reálný příklad výběru fotovoltaických panelů pro solární elektrárnu.

Metodika

Literární přehled: popis problematiky vícekriteriálního rozhodování, příslušných kvantitativních metod a odvětví solárních panelů + současný stav

Identifikace kritérií výběru: Zmapování a definování kritérií, která mají vliv na rozhodování při výběru fotovoltaických panelů, jako jsou účinnost, cena, životnost, certifikace, regionální klimatické podmínky atd.

Zhodnocení důležitosti kritérií: Použití metod, k určení relativní důležitosti jednotlivých kritérií.

Sběr dat a informací: Shromáždění relevantních dat o fotovoltaických panelech od různých výrobců, včetně technických parametrů, údajů o výkonu a cenách.

Aplikace rozhodovacích modelů: Použití různých rozhodovacích modelů k porovnání a hodnocení fotovoltaických panelů na základě stanovených kritérií.

Vyhodnocení výsledků: Analýza výsledků aplikace rozhodovacích modelů a určení optimálních variant fotovoltaických panelů pro solární elektrárnu.

Závěr a doporučení: Shrnutí hlavních zjištění, formulace doporučení pro praxi a případné návrhy budoucího výzkumu.



Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

vícekriteriální rozhodování, solární elektrárna, fotovoltaický panel

Doporučené zdroje informací

FIALA, Petr. Modely pro vícekriteriální rozhodování.

JABLONSKÝ, Josef. Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování.

ŠUBRT, Tomáš. Ekonomicko-matematické metody.

**Předběžný termín obhajoby**

2023/24 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Robert Hlavatý, 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 15. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Aplikace rozhodovacích modelů při výběru fotovoltaických panelů pro solární elektrárnu " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.03.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Robertu Hlavatému, Ph.D., za věcné připomínky, vstřícnost při konzultaci a ochotu během procesu vytváření bakalářské práce.

Aplikace rozhodovacích modelů při výběru fotovoltaických panelů pro solární elektrárnu

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na aplikaci metod vícekriteriálního rozhodování. Cílem práce je doporučit ideální fotovoltaické panely pro solární elektrárnu.

Práce je rozdělena do dvou hlavních částí. Teoretická část poskytuje základní teoretický rámec pro vícekriteriální rozhodování, specificky orientované na oblast modelů vhodných pro výběr fotovoltaických panelů. Zahrnuje přehled a analýzu relevantních kvantitativních metod, založených na studiu odborné literatury a zdrojů. Praktická část se věnuje konkrétní aplikaci těchto teoretických poznatků a procesům při výběru fotovoltaických panelů, včetně definování kritérií výběru, určení jejich relativní důležitosti a porovnání i hodnocení panelů pomocí metody AHP.

Klíčová slova: vícekriteriální rozhodování, solární elektrárna, fotovoltaický panel, AHP

Application of decision-making models in the selection of photovoltaic panels for a solar power plant

Abstract

The bachelor thesis focuses on the application of multi-criteria decision making methods. The aim of the thesis is to recommend the ideal photovoltaic panels for a solar power plant.

The thesis is divided into two main parts. The theoretical part provides the basic theoretical framework for multi-criteria decision making, specifically oriented to the area of models suitable for the selection of photovoltaic panels. It includes a review and analysis of relevant quantitative methods, based on the study of literature and sources. The practical part is devoted to the concrete application of this theoretical knowledge and processes in the selection of PV panels, including the definition of selection criteria, the determination of their relative importance and the comparison and evaluation of panels using the AHP method.

Keywords: multi-criteria decision making, solar power plant, photovoltaic panel, AHP

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Cíl práce a metodika	12
2.1 Cíl práce	12
2.2 Metodika	12
3 Teoretická východiska	13
3.1 Rozhodování	13
3.1.1 Rozhodovací proces	13
3.1.2 Model	13
3.1.3 Vícekriteriální Rozhodování	14
3.1.4 Model vícekriteriální hodnocení variant	14
3.1.5 Kritérium.....	15
3.1.6 Rozhodovatel	16
3.1.7 Informace	16
3.1.8 Cíle řešení	16
3.1.9 Varianty	17
3.2 Metody odhadu vah kritérii	17
3.2.1 Metoda pořadí	17
3.2.2 Metoda Fullerova trojúhelníku	18
3.2.3 Bodovací metoda	19
3.2.4 Saatyho metoda.....	19
3.3 Metody vícekriteriálního hodnocení variant	21
3.3.1 Metoda váženého součtu.....	21
3.3.2 Metoda TOPSIS	22
3.3.3 Metoda AHP	23
3.4 Fotovoltaika.....	24
3.4.1 Fotovoltaické články	24
3.4.2 Fotovoltaické panely	25
3.4.3 Fotovoltaické Elektrárny.....	26
4 Vlastní práce	28
4.1 Rozhodovatel.....	28
4.2 Kritéria	28
4.2.1 Cena	28
4.2.2 Účinnost.....	29
4.2.3 Výkon.....	29
4.2.4 Záruka	29
4.2.5 Hmotnost.....	29
4.3 Varianty fotovoltaických panelu	29

4.3.1	JA Solar 550 W Bifacial	30
4.3.2	Jinko Solar Tiger Neo N-type 72HL4 580 W	30
4.3.3	TW SOLAR Tongwei 550 W	30
4.3.4	Risen Energy 545 W Bifacial	31
4.3.5	JA Solar 500 W	31
4.3.6	LEAPTON SOLAR N-type 570 W	31
4.3.7	Longi 530 W	31
4.3.8	SUNPRO 540 W	32
4.4	Bodové ohodnocení.....	32
4.5	Výběr kompromisní varianty	33
4.5.1	Stanovení vah kritérií pomocí Saatyho metody	33
4.5.2	Výběr ideálního fotovoltaického panelu pomocí metody AHP.....	34
5	Výsledky a diskuse	39
6	Závěr.....	41
7	Seznam použitých zdrojů	42
8	Seznam obrázku a tabulek a vzorcu.....	45
8.1	Seznam obrázků	45
8.2	Seznam tabulek	45
8.3	Seznam vzorců	46

1 Úvod

V dnešní době musí lidé často stát tváří v tvář před těžkými rozhodnutími a ty mají dopad nejen na jednotlivce, ale také na společnost i celá odvětví. Obvykle se lidé rozhodují impulzivně, místo toho, aby měli ucelený přehled o všech možnostech a potenciálních důsledcích. Pro běžná a jednoduchá rozhodnutí to může stačit, ale pro velká a strategická rozhodnutí, jako je výběr technologií, investic do dlouhodobých aktiv nebo plánování strategického rozvoje podniku, kdy je třeba všechny své volby důkladně zvážit, je nutné věnovat větší pozornost analýze a hodnocení všech dostupných možností.

Pro výběr ideálního solárních panelů pro daný podnik je potřeba výběr důkladně zvážit z různých úhlů pohledu. Tato bakalářská práce se zaměřuje na aplikaci metody Analytického hierarchického procesu (AHP) na výběr solárních panelů tak, aby zabezpečila optimalizaci investice a efektivnosti implementovaných řešení. Solární panely budou vybírány s cílem maximalizovat energetickou efektivnost a ekonomickou návratnost v podniku.

Výběr solárních panelů není jen problém týkající se technologických otázek, ale je potřeba vzít v úvahu také peněžní a environmentální aspekty. V rámci této bakalářské práce budou shromážděná a analyzovaná data o různých typech solárních panelů dostupných na trhu. Zvážené budou hlavně kritéria výkonnost, náklady, záruka a jiná relevantní hlediska. Na základě stanovených kritérií, bude aplikována metoda AHP, díky které, bude zjištěná nejlepší varianta. Tento přístup se snaží demonstrovat význam a efektivnost využití vícekritériální analýzy při rozhodovacích procesech ve firmách při identifikaci ideální solární panely.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je provést pomocí metod vícekriteriálního rozhodování efektivní výběr fotovoltaických panelů pro solární elektrárny. Hlavním záměrem práce je aplikovat různé rozhodovací modely a metody na tento proces výběru a poskytnout praktický návod pro efektivní rozhodování v této oblasti. V praktické části bude cílem doporučit vhodná řešení na základě aplikací rozhodovacích modelů na výběr fotovoltaických panelů pro solární elektrárnu.

2.2 Metodika

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části, teoretická a praktická.

Teoretická část bude zkoumat teoretické aspekty vícekriteriálního rozhodování, specificky aplikovatelné na výběr fotovoltaických panelů. Bude popsána metodika a principy vícekriteriálního rozhodování, včetně přehledu relevantních kvantitativních metod. Důkladný průzkum odborné literatury a informačních zdrojů umožní vytvořit robustní teoretický základ pro další praktickou aplikaci.

Praktická část se bude soustředit na praktickou aplikaci teoretických postupů. Zde bude podrobně popsán proces definování kritérií pro výběr fotovoltaických panelů. Bude využívat Saatyho metoda pro určení relativní důležitosti jednotlivých kritérií a aplikována metoda AHP (Analytického hierarchického procesu) pro porovnání a hodnocení fotovoltaických panelů. Tato část bude zahrnovat podrobnou analýzu výsledků aplikace rozhodovacího modelů a identifikaci kompromisní variant fotovoltaických panelů pro použití v solární elektrárně. Na základě získaných poznatků a provedených výpočtů budou formulována konkrétní doporučení pro výběr fotovoltaických panelů, vhodných pro praktické využití v solárních elektrárnách.

3 Teoretická východiska

V teoretické části práce je podrobně zpracován teoretický základ vícekritériálních rozhodovacích modelů a fotovoltaiky, přičemž informace jsou čerpany z odborné literatury. Jsou zpracovány jednotlivé metody výpočtu, které mohou být aplikovány v rámci těchto modelů.

3.1 Rozhodování

Podle Fialy (2006, str. 5) lze rozhodování chápat jako proces volby mezi různými možnostmi řešení daného problému. Každý jedinec se v průběhu života setkává s množstvím problémů, při jejichž řešení je třeba vybírat takovou možnost, která nejlépe odpovídá jeho potřebám a preferencím. Rozhodování by mělo být založeno na racionálních základech, s cílem maximalizovat osobní užitek z vybrané alternativy. Pro různé typy rozhodovacích situací jsou vytvářeny specifické modely a metody, které mohou poskytnout cennou podporu při hledání řešení v konkrétních situacích. Modely představují spojnici mezi teoretickými znalostmi a praktickou aplikací, jejich význam a účel je obousměrný. Pomáhají nejen ověřovat zkušenosti získané v reálném světě a rozvíjet teoretické poznatky, ale také aplikovat teoretické principy pro efektivní rozhodování v praktickém životě.

3.1.1 Rozhodovací proces

Představuje výběr optimálního řešení ze souboru dostupných alternativ. Tento proces zahrnuje analytické řešení problémů, kdy je nutné vybrat nejvhodnější variantu z možných řešení. Primárním cílem je identifikace alternativy, jež nabízí nejlepší výsledky z hlediska daných kritérií. Výsledný efekt každé alternativy je ovlivněn budoucími okolnostmi, které nejsou přímo v moci rozhodovatele. Není vždy zřejmé, která možnost je nejlepší, jelikož při rozhodování nejsou plně známy všechny potenciální důsledky volby. Každá situace je jedinečná a většinou se v identické podobě neopakuje (Šubrt a kolektiv, 2015, str. 113).

3.1.2 Model

Model lze popsat jako abstrakci reálného objektu. Při tvoření tohoto modelu se dbá na výstižné zpodobnění struktury nebo funkce zkoumaného objektu. Pokud bude model až moc kopírovat zkoumaný objekt, ztrácí svůj význam. Jestliže zpodobňuje nepřesně, může dojít ke zkreslení a výskytu chyb (Fiala, 2006, str. 11).

Základní modely pracují s myšlenkou, že rozhodovatel porovnává varianty jenom za pomoci jednoho hodnotícího kritéria. Za této situace lze optimální řešení nalézt i bez dodatečné informace od rozhodovatele, to znamená, že všechny potřebné informace pro vyřešení problému už nám jsou známy (Fiala, 2006, str. 47).

3.1.3 Vícekriteriální Rozhodování

Podle Fialy (2006, str. 47) vícekriteriální model rozhoduje podle několika kritérií, na rozdíl od klasických modelů, které porovnávají své varianty pouze podle jednoho kritéria. Tento způsob je už blíže reálným rozhodovacím situacím. Vícekriteriální model je vyjádřen seznamem variant, který zpodobňuje množinu alternativ, jímž byly přiřazeny hodnoty podle jednotlivých kritérií.

Jablonský (2002, str. 273) tvrdí, že skoro každé lidské rozhodnutí, je vícekriteriální rozhodnutí, které ve většině případů představuje situaci, která se nevyplatí zpracovávat modelem, protože by to bylo bezvýznamné nebo nemožné.

Šubrt a kolektivu (2015, str. 150) předkládají, že práce s větším množstvím kritérií při hodnocení vnáší do řešení problému konflikty a obtíže, které jsou způsobené nesejností kritérií. Kdyby všechna kritéria preferovala stejnou variantu, pro výběr nejlepší varianty by stačilo znát pouze jedno kritérium.

Jablonský (2002, str. 271) předkládá informaci, že kritéria, která se v tomto modelu posuzují, jsou vzájemně v nesouladu. To znamená, že alternativa, která dominuje nad ostatními alternativami podle jednoho kritéria, už nebude dominovat nad ostatními podle jiného kritéria.

3.1.4 Model vícekriteriální hodnocení variant

Podle Jablonského (2002, str. 271-272) pokud jsou alternativy určeny výčtem či seznamem, tak se jedná o vícekriteriální hodnocení variant (VHV).

Teorie a model vícekriteriální analýzy variant je důležitý pro efektivní výběr z několika přípustných alternativ a jejich následné doporučení pro realizaci. Aby byl výběr co nejobektivnější, je potřeba využít soubor metod a postupů pro hodnocení variant. Často se stává, že osoba zadávající úkol není stejná osoba jako řešitel, tedy analytik. Tento přístup má své výhody. Analytik, jelikož nebývá přímo zapojen do výsledků rozhodování, může zaujmout maximálně objektivní postoj. Nevýhodou je neznalost všech detailů úlohy, jež nebylo možné při zadání úlohy zcela aplikovat v modelu. Výsledkem může být doporučení nejlepší varianty

na základě kritérií, která však v praxi nemusí být tou neoptimálnější (Šubrt a kolektiv, 2015, str. 149).

3.1.5 Kritérium

Hodnocení různých variant je klíčové pro efektivní rozhodovací proces a může být kvantitativní nebo kvalitativní. Výběr správných kritérií je zásadní, neboť musí být nezávislá a zahrnovat všechny důležité aspekty rozhodování, aniž by jejich množství zbytečně znesnadňovalo přehled o situaci. Hodnoty určené pomocí kvalitativních kritérií nelze měřit a často se opírají o subjektivní posouzení hodnotitele. V těchto případech se obvykle volí k použití bodovacích systémů nebo relativního hodnocení, kde jedna varianta funguje jako referenční bod pro porovnání s ostatními možnostmi. Kvantitativní kritéria představují hodnoty, které lze objektivně měřit a vyhodnotit, díky čemuž jsou považována za objektivní. Pokud jsou varianty hodnocené kvantifikovanými kritérii, může být po jejich uspořádání sestrojena kritériální matice Y , kde prvek x_{ij} vyjadřuje hodnocení i -té varianty podle j -tého kritéria (Šubrt a kolektiv, 2015, str. 151).

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

Vzorec 1 – Kritériální matice

“Obecně můžeme předpokládat, že hledáme standardně takovou variantu, jejíž hodnota kritériální funkce je maximální. Pokud by věcný problém vyžadoval minimalizaci kritériální funkce lze snadno přejít na maximalizaci např. vynásobením kritériální funkce hodnotou minus jedna.” (Fiala, 2006, str. 11)

Jablonský (2002, str. 271-272) udává, že kritéria musí být buď maximalizační nebo minimalizační. U maximalizačních kritérií jsou preferovány varianty, které dosahují vyšších kritériálních hodnot. Nejvyšší z těchto hodnot bude považována za nejuvhodnější alternativu v tomto rozhodovacím procesu. Při minimalizaci kritérií jsou preferovány varianty, které dosahují nižších kritériálních hodnot.

3.1.6 Rozhodovatel

Rozhodovatel je subjekt, který vybírá vhodné rozhodnutí z množiny variant a udává preference k jednotlivým variantám. Ty jsou vyjádřeny přes ohodnocení jednotlivých kritérií (Fiala, 2006, str. 10-11).

“Vícekritériální rozhodovací problémy jsou popsány množinou variant, množinou hodnotících kritérií a řadou vazeb mezi kritérii a variantami. Rozhodovatel zadává základní informace o variantách a kritériích, které umožní formulovat vícekritériální model“ (Fiala, 2006, str. 47)

Fiala (2006, str. 47) zastává přesvědčení, že rozhodovatel může přidat do modelu dodatečnou informaci, poněvadž jí nebylo možné do modelu zahrnout kvůli jejímu obtížnému vyjádření. Často to bývají osobní preference k jednotlivým kritériím.

3.1.7 Informace

Informace, které je možné získat o preferenci kritérií, můžou být nominální, kardinální, ordinální nebo žádné. Nominální informace se vyjadřuje pomocí aspirační úrovně, která stanovuje minimální přípustnou hodnotu k přijetí alternativy. Kardinální informace vyjadřuje, o kolik je jedno hodnocení kritéria lepší než druhé. Hodnotí kritérium pomocí jejich vah. Ordinální informace seřazuje kritéria podle jejich důležitosti nebo podle jejich hodnocení. Žádná informace nastává v situacích, kdy neznáme preference (Šubrt a kolektiv, 2015, str. 155).

3.1.8 Cíle řešení

Podle Jablonského (2002, str. 273) je možným cílem modelu nalezení kompromisní varianty. Tato metoda hledá variantu, která bude nejlepší podle jednotlivých rozhodovacích kritérií. Rozhodovatel chce zjistit pouze kompromisní variantu pro jeho rozhodnutí, celkové pořadí ho nezajímá. Dalším cíle může být úplné uspořádání variant. Za těchto okolností chce rozhodovatel zjistit uspořádání variant od nejlepší po nejhorší. Toto uspořádání je především ovlivněno osobními preferencemi rozhodovatele.

Šubrt a kolektiv (2015, str. 154) tvrdí, že dalším možným řešením je rozdělení variant na efektivní a neefektivní. Při tomto řešení nejde o určení pořadí ani nejlepší varianty, jde o určení, jestli je daná varianta efektivní nebo neefektivní.

3.1.9 Varianty

Podle Šubrta a kolektivu (2015, str. 150) lze varianty popsat jako jednotlivé možnosti, které si může rozhodovatel zvolit. Jejich výběr je klíčový, jelikož chceme získat dosažitelné a logické řešení. Metodika hodnocení jednotlivých variant spočívá v ohodnocení na základě specifických kritérií pro každou variantu.

Varianty se rozlišují podle určitých stavů (všechna kritéria jsou maximalizační):

Dominující varianta a_1 dominuje variantu a_2 . Jestliže narazíte na tento případ, lze usoudit, že varianta a_1 je lépe hodnocena podle všech kritérií než varianta a_2 . Varianty a_1 a a_2 jsou vzájemně nedominované, pokud není jedna varianta výrazně jednoznačně lepší než druhá. Ve všech kritériích je možné prohlásit, že se jedná o efektivní nebo paretovo řešení. Paretovo řešení představuje takovou variantu, při níž může být zvolena alternativní variantu, u které dojde ke zlepšení určitého kritéria, ale zároveň dojde ke zhoršení jiného kritéria. Varianty, jejichž výskyt je obvykle jen hypotetický, popisuje ideální a bazální varianta. Ideální varianta, představuje variantu, která disponuje nejlepším hodnocením podle všech kritérií. Bazální varianta reprezentuje variantu, jež disponuje nejhorsím hodnocením podle všech kritérií (Šubrt a kolektiv, 2015, str. 152-153).

Kompromisní varianty se hledá vždy pouze v nedominovaných variantách, což je u vícekritériálních hodnocení variant problém, jelikož nedominovaných variant je většinou několik. Proto musí rozhodovatel vyjádřit své preference pomocí vah kritérií, aby bylo možné rozhodnout o nejlepší variantě (Jablonský, 2002, str. 274).

3.2 Metody odhadu vah kritérií

Jedná se o nástroj, pomocí kterého může rozhodovatel převádět své preference na numerickou hodnotu tím, že přiřazuje váhy k jednotlivým kritériím. Metody odhadu vah kritérií jsou přesně takovým nástrojem, který podle informací, obdržených od rozhodovatele, provádí odhady vah (Jablonský, 2002, str. 274).

3.2.1 Metoda pořadí

Rozhodovatel vyžaduje pouze ordinální informaci o seřazení kritérií od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Ke každému kritériu je přiřazeno číslo, nejlepší získá hodnotu k , druhé nejlepší $k-1$ další $k-2$. Tento postup lze opakovat, dokud poslední kritérium nezíská hodnotu

$(k-i)=1$. Přiřadí-li se i -tému kritériu hodnotu b_i , jeho váha se vypočte podle vzorce (Fiala, 2006, str. 51):

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i} = \frac{b_i}{\frac{k(k-1)}{2}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, k$$

Vzorec 2 – Normalizace vah kritérii

“Tento vzorec normalizuje informace o preferenci kritérií, postup se proto nazývá normalizace vah kritérií“ (Šubra a kolektiv, 2015, str. 158)

3.2.2 Metoda Fullerova trojúhelníku

Metoda Fullerova trojúhelníku používá metodu párové porovnávání. Pracuje s předpokladem, že u všech dvojic lze srovnat kritéria a určit, které je důležitější. Platí, že když je kritérium i důležitější než j , a zároveň platí, že j je méně důležité než i , počet provedených srovnání bude (Šubra a kolektiv, 2015, str. 158):

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad n = \text{počet porovnávaných kritérií}$$

Vzorec 3 – Počet srovnání

Pro zobrazení tohoto porovnávání se převážně používá Fullerův trojúhelník. Po vytvoření trojúhelníku se z každé dvojice zakroužkuje ten prvek, který je důležitější. Pokud pro počet zakroužkování j -tého prvku je zvoleno n , může být tato váha vypočítána podle vzorce (Šubra a kolektiv, 2015, str. 158).

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

Vzorec 4 – Váha prvku

Tabulka 1 – Schéma Fullerova trojúhelníku

1	1	1	...	1
2	3	4	...	k
	2	2	...	
	3	4	...	
			...	
			...	
			k-2	k-2
			k-1	k
				k-1
				k

3.2.3 Bodovací metoda

Rozhodovatel hodnotí důležitost každého kritéria podle předem určené stupnice. Počet bodů, kterými rozhodovatel oboduje dané kritérium, závisí na jeho důležitosti. Čím větší bude jeho důležitost, tím vyšší bude jeho bodové ohodnocení. Jestli je bodové ohodnocení i-tého kritéria označeno symbolem, může být odhadovaná váha kritéria spočtena podle vzorce (Jablonský, 2002, str.275.):

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

Vzorec 5 – Váha kritéria

3.2.4 Saatyho metoda

Podle Jablonského (2002, str. 276-277) půvab této metody spočívá v možnosti rozhodovatele vyjádřit své preference verbální formou místo numerické metody, která je přirozenější. Verbální forma se ihned převádí na numerickou pomocí stupnice:

- 1 - rovnocenná kritéria;
- 3 - slabě preferované kritérium;
- 5 - silně preferované kritérium;
- 7- velmi silně preferované kritérium;
- 9 - absolutně preferované kritérium;

Lze použít i mezistupně hodnoty 2, 4, 6, 8.

Po ohodnocení kritéria příslušnými body provede expert porovnání mezi jednotlivými páry kritéria, aby určil preferenci i-tého kritéria vzhledem k j-tému kritériu, a zapíše je do Saatyho matice $S = (s)$:

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

Vzorec 6 – Saatyho matice

Matice má rozměr $n \times n$, je čtvercová. Na pozici $i=2$ a $j=2$ jsou kritéria stejně preferovaná, tudíž do matice bude zapsaná hodnota $s_{22}=1$. Kritérium na diagonále bude vždy samo sobě rovně, proto bude na diagonále vždy 1. V situaci, kdy bude $i=1$ a $j=2$, bude i silně preferované před j . V této situaci bude do matice zapsaná hodnota $s_{12}=5$. V případě, kdy bude $i=2$ a $j=1$, bude do matice zapsaná převrácená hodnota $s_{21}=1/5$, která vyjadřuje odhad podílu vah i -tého a j -tého kritéria. Prvky matice nebývají zpravidla dokonale konzistentní. Pokud nejsou konzistentní, neplatí vztah $s_{hj}=s_{hi} \times s_{ij}$ za podmínky $h, j, i=1, 2, \dots, n$. Pokud bude sestrojena matice $V = (v_{ij})$, jejíž prvky bude možné spočítat pomocí podílu vah ($v_{ij} = v_i / v_j$), budou pro tyto prvky platit podmínky pro konzistentní vztah. Míra konzistence se bude měřit indexem konzistence. Ta lze vypočítat podle následujícího vzorce (Šubrt a kolektiv, 2015, str. 160-161):

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

Vzorec 7 – Index konzistence

I_{max} je nejvyšší číslo obsažené v matici umocněné na 2. N je počet kritérií. Matice bude považovaná za dostatečně konzistentní, pokud bude výsledná hodnota $I_s < 0,1$. Když bude splněna podmínka minimální odlišnosti matice S od matice V , bude možné odhadnout váhy v_j . Při aplikaci bude využita minimalizace součtu čtverců odchylek prvků se stejným umístěním v matici S , tak v matici V . Váhy v_j lze odhadnout řadou jednoduchých způsobů, jež navrhl Saaty. Jedním z nich je normalizace geometrického průměru každého řádků Saatyho matice. Výsledná hodnota b_i , která bude představovat geometrický průměr řádků, bude vypočten podle následujícího vzorce (Šubrt a kolektiv, 2015, str. 161):

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

Vzorec 8 – Geometrický průměr řádku

Podle Šubrta a kolektivu (2015, str. 161) lze váhy vypočítat pomocí normalizaci hodnot b_i :

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

Vzorec 9 – Normalizace hodnot

3.3 Metody vícekritériálního hodnocení variant

3.3.1 Metoda váženého součtu

Jablonský (2002, str. 280) tvrdí, že metodu váženého součtu lze označit také jako metoda WSA (Weighted Sum Approach). Metoda váženého součtu se hodnotí užitek kritérií z intervalu $\langle 0,1 \rangle$, přičemž nejhorší kritérium bude ohodnocené užitekem 0 a nejlepší kritérium bude ohodnocen užitekem 1. Ostatní kritéria budou hodnocena hodnotami z intervalu $(0, 1)$. Pro aplikaci metody váženého součtu musí být prvky kritériální matice označené y_{ij} vyměněny za hodnoty y_{ij}' . Tato hodnota reprezentuje užitek jednotlivých kombinací X_i a Y_j , lze ji spočítat pro maximalizaci kritérií podle následujícího vzorce:

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

D_j bude nabývat nejmenší hodnotu kritéria Y_j , nejhorší hodnota tedy bude $y_{ij}=D_j$;

H_j bude nabývat nejvyšší hodnotu kritéria Y_j , nejlepší hodnoty tedy bude $y_{ij}=H_j$.

Vzorec 10 – Užitek dílčích variant při maximalizaci

Pro minimalizaci kritérií bude vztah: (Jablonský, 2002, str. 280)

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

Vzorec 11 – Užitek dílčích variant při minimalizaci

Celkový užitek variant X_i bude označen $u(X_i)$, po výpočtu bude známo uspořádání variant, $u(X_i)$ bude vypočítán podle následujícího vzorce: (Jablonský, 2002, str. 280)

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

Vzorec 12 – Celkový užitek

3.3.2 Metoda TOPSIS

Metoda TOPSIS hodnotí jednotlivá kritéria podle jejich vzdálenosti od bazální a ideální varianty. Pro použití metody bude potřeba poskytnout informace o preferenci variant a váhy jednotlivých kritérií pomocí kardinální informace. Postup při výpočtu metody TOPSIS se dá rozdělit do 4 kroků: Při 1. kroku bude zkonstruována normalizovaná kritériální matice $R = (r_{ij})$ podle vzorce (Šubrt a kolektiv, 2015, str. 177):

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

Vzorec 13 – Normalizovaná kritériální matice R

Po 1. kroku budou sloupce matice R vektory jednotkové délky. Během 2. kroku budou vypočítána normalizována vážená kritériální maticí $W = (w_{ij})$ podle vztahu (Šubrt a kolektiv, 2015, str.178):

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

Vzorec 14 – Normalizovaná vážená kritériální matice W

Následně bude určena ideální varianta pod označením H, která bude nabývat hodnot (h_1, \dots, h_m) . Bazální hodnota bude označena D, bude nabývat hodnot (d_1, \dots, d_m) vzhledem k hodnotám matice W. Ve 3. kroku bude spočítána vzdálenost jednotlivých variant od ideální varianty a bazální varianty podle vztahu (Šubrt a kolektiv, 2015, str. 178):

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

Vzorec 15 – Vzdálenosti jednotlivých variant od ideální varianty

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

Vzorec 16 – Vzdálenosti jednotlivých variant od bazální varianty

Poslední krok obsahuje výpočet relativního ukazatele vzdáleností jednotlivých variant od bazální varianty hodnoty tohoto ukazatele. Ty se pohybují mezi $\langle 0, 1 \rangle$. Pokud vyjde ukazatel 1, značí ideální variantu. Při hodnotě 0, značí bazální variantu. Výsledky toho ukazatele budou seřazeny podle velikosti. Hodnoty s nejvyššími hodnotami označujeme jako řešení. Relativní ukazatel lze spočítat podle vztahu (Šubrt a kolektiv, 2015, str. 178):

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

Vzorec 17 – Relativní ukazatele vzdáleností od bazální varianty

3.3.3 Metoda AHP

“Jednoduchou a účinnou metodou pro stanovení priorit v hierarchických vícekritériálních systémech je metoda AHP (Analytic Hierarchy Process), která při modelování preferencí vychází z posloupnosti párových srovnání vhodně stanovených částí systému.”
(Fiala, 2006, str. 90)

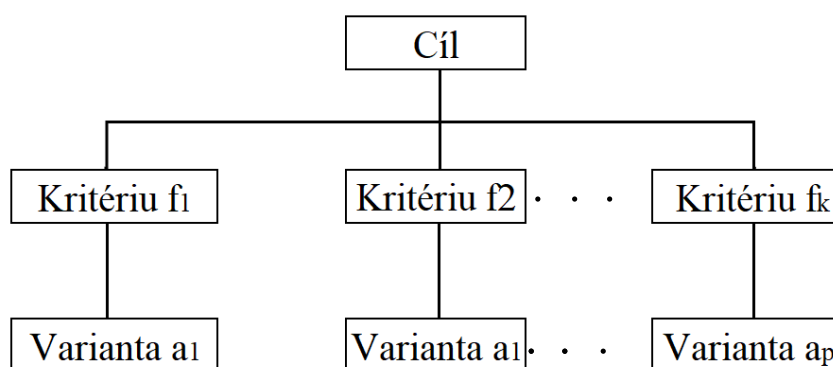
Podle Fialy (2006, str. 90) probíhá řešení ve třech krocích. V prvním kroku bude vytvořena hierarchická struktura tvořena na nejvyšší pozici cílem, druhou příčku obsadí jednotlivá kritéria a poslední příčku obsadí rozhodovací varianty. Ty budou rozděleny tímto způsobem, protože jednu úroveň vždy sdílí prvky s podobnými vlastnostmi, díky kterým mohou být srovnány. Během druhého kroku dojde k postupnému párovému srovnávání jednotlivých částí v úrovni. Při srovnávání se postupuje od shora dolů. Současně s porovnáváním se formuje Saatyho matice, která slouží k odhadu vah jednotlivých řádků. Pomocí normalizovaného geometrického průměru lze spočítat jako:

$$v_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^m R_i} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Vzorec 18 – Odhad vah v řádku v metodě AHP

Podle Fialy (2006, str. 90) v posledním kroku usilujeme o nalezení agregovaných vah jednotlivých kritérií, z kterých vybereme tu nejvyšší jako řešení. Agregované váhy jednotlivých kritérií získáme kombinováním odhadnutých vah jednotlivých kritérií. Hierarchická struktura se 3 úrovněmi:

Obrázek 1 – Hierarchická struktura



3.4 Fotovoltaika

Fotovoltaika je technologie, která využívá sluneční energii k výrobě elektrické energie (Enkidoo, 2021). Česká republika se nachází v mírném klimatickém pásmu, což má za následek střídání ročních období. To má přímý vliv na poměr vyrobené energie během jednotlivých období. V období od dubna do října je v České republice získáno až 75 % z celkové sluneční energie. Je to především kvůli jasné obloze v této části roku, která dovoluje přímé záření. V období od října do dubna je získáno zbylých 25 %. V této části roku dopadá na panely rozptýlené záření, které dopadá na naši planetu celoročně i přes zataženou oblohu. Během jednoho roku dopadne na m^2 950-1340 kWh. Aby na fotovoltaické panely dopadalo světlo co nejdéle, jsou orientované na jihozápad a jejich sklon se pohybuje okolo 45 %, což je doporučený sklon pro celoroční provozu (SolidSun, 2022).

3.4.1 Fotovoltaické články

Fotovoltaické elektrárny jsou vybavené fotovoltaickými články, s jejichž pomocí se vyrábí elektřina. Jedná se o tenké destičky vyrobené z polovodičových materiálů. Polovodičové materiály jsou takové látky, který disponují vlastnostmi vodiče i nevodiče. V závislosti na požadované vlastnosti se přidá určitý chemický prvek na povrch polovodiče, který zapříčiní převládnutí jedné z vlastností. Fotovoltaické články jsou zejména tvořena pomocí

polovodičových materiálů jako křemík, nebo sloučeniny jako CdTe (tellurid kademnatý) nebo CIGS (sloučenina mědi, india, galia, síry a selenu). V dnešní době mají na trhu největší zastoupení křemíkové články. Účinnost těchto článků je možné měřit podle toho, kolik energie je článek schopen přeměnit z přijaté světelné energie a změnit na energii elektrickou. Při použití pouze jednoho fotovoltaického článku, na který bude svítit planoucí slunce, vzniká na článku napětí 0,5 voltu a proud 5 ampér, který přibližně odpovídá 2,5 wattu, což je opravdu nízká hodnota. Proto se fotovoltaické články spojují do řad po 36 nebo 72 článcích. Ty tvoří moduly, které následně tvoří panely pomocí spojení až 144 modelů dohromady, které jsou zasazeny do rámu a shora chráněné sklem (Enkidoo, 2021).

3.4.2 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely, někdy také nazývané i solární panely, se liší zejména podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny a podle postupu výroby. Na základě těchto vlastností je možné rozdělit na monokrystalické, polykrystalické a amorfní solární panely (ARPEG, 2024).

Monokrystalické solární panely jsou jednou z nejdražších možných voleb solárního panelu, což je zapříčiněno jejich unikátním procesem výroby. Během procesu výroby se vytváří blok krystalu křemíku (EnergoSolar, 2023). Podle ARPEG (2024) jsou křemíkové bloky rozřezány na plátky, díky tomu nedochází k ohrazení jednotlivých krystalu a nedochází proto ke ztrátám. Jedná se o energeticky náročný proces, při kterém vzniká přebytečný křemík, který lze použít k výrobě polykrystalických solárních panelů (EnergoSolar, 2023). Účinnost monokrystalických panelů se pohybuje mezi 16–24 % (Hladík, 2023).

Polykrystalické solární panely oproti monokrystalickým solárním panelům jsou zatíženy nižšími náklady na výrobu. Je to dáno především procesem výroby, jelikož se nevyrábí z čistého krystalu křemíku, ale z úlomků křemíku. Tím je výrobní proces zjednodušen, což vede ke snížení výrobní ceny (EnergoSolar, 2023). Samotný výrobní proces spočívá v roztavení křemíku, poté dochází ke smísení s atomy boru. Celá směs se nechá zatuhnout, čímž vznikne velký blok. Bloky křemíku jsou následně rozřezány na tenké plátky a jsou pokryty antireflexní vrstvou. Nevýhodou tohoto zpracování jsou zkratové body, které vznikají na hranicích krystalu, což vede ke snížení jejich účinnosti (ARPEG, 2024). ČEZ (2024) uvádí, že účinnost polykrystalického panelu v laboratorní podmínkách se pohybuje kolem 18 % a v průmyslových podmínkách v rozmezí 13–15 %.

Amorfní solární panely jsou lehké a flexibilní, patří k nejlevnějším typům solárních panelů na trhu. Jejich nevýhodou je ale nízká účinnost a kratší životnost v porovnání s ostatními druhy panelů. Účinnost amorfního panelů se pohybuje mezi 7–11 % (Hladík, 2023).

Cena amorfního panelu je do značné míry ovlivněna materiály použitými na výrobu panelu. Výroba panelu z CdTe je nejlevnějším typem solárního panelu, zatímco výroba panelu CIGS je mnohém dražší než CdTe nebo amorfní křemíkové panely (EnergoSolar, 2023). Proces výroby je odlišný od předem zmiňovaných solárních panelů. Při výrobě amorfního solárního panelu je polovodičem potažen na nosný materiál. Díky tomu je k jejich výrobě potřeba pouze malé množství materiálu, což přispívá k jejich nízké hmotnosti (ARPEG, 2024).

Vinayagamoorthi a kolektiv (2024) ve své studii tvrdí, že průměrná životnost solárních panelu je 25 let a po uplynutí této doby se z panelů stane odpad. Očekává se, že do roku 2030 dosáhne množství odpadu ze solárních panelů přibližně 8600 tun a do roku 2050 se dále zvýší na 78 milionů tun. Odpad ze solárních panelů by měl být vhodným způsobem zlikvidován nebo recyklován.

Zeleva a kolektiv (2024) ve své studii uvádí, že odpad ze solárních panelu se převážně skládá ze skla, zbytek tvoří kovy a polymery. Dále předkládá možnost využití odpadu ze solárních panelů jako náhradu za písek při výrobě betonu. Pro tento účel byly využity vyřazené křemíkové fotovoltaické panely, které byly vyjmuty z rámců a poté byly lamináty rozdrceny na velikost podobnou písku. Vniklý materiál nazývaný SWS byl následně přimíchán místo písku do směsi betonu a podroben testu. Testy prokázaly, že SWS je vhodný jako náhrada jemného kameniva v betonu, což může znamenat možnost recyklaci odpadu ze solárních panelů tímto způsobem v budoucnu.

3.4.3 Fotovoltaické Elektrárny

Fotovoltaické elektrárny je možné rozlišovat dle účelu využití vygenerované energie. Malé fotovoltaické elektrárny, jako je instalace na střechách domu s pár panely s výkonem do 15kW, bývají především využívány pro přímou spotřebu s možností prodávání přebytků do distribuční sítě. Je možné se setkat i s většími instalacemi na střechách výrobních hal nebo obchodních center s výkonem, který se pohybuje od 15kW až do stovek kW. Velké fotovoltaické elektrárny jsou ve většině případů volně stojící, což znamená, že solární panely jsou usazené na speciální konstrukci kvůli stabilitě a vhodné poziční orientaci. Výkon takovýchto elektráren se pohybuje od stovek kWp až po desítky MWp, přičemž se jejich plocha může rozkládat na ploše několika desítek hektarů. Elektrárny této velikosti bývají připojené

přímo do distribuční sítě za účelem prodeje veškeré vyrobené elektřiny. (Nos, 2018). Fotovoltaické elektrárny v České republice mají fotovoltaické panely orientované na jihozápad a jejich sklon se pohybuje v rozmezí 30-45 % (SolidSun, 2022).

Podle Vinayagamoorthi a kolektivu (2024) jsou solární elektrárny jedním z nejekologičtějších, vysoce účinným a obnovitelných zdrojem elektrické energie, který během svého provozu neznečišťujících životní prostředí. Přesto že solární energie bývá označovaná jako čistá energie, při její výrobě, přepravě a instalaci solárních elektráren se mohou uvolňovat skleníkové plyny, což přispívá ke znečištění životního prostředí. Výhodou solárních elektráren je, že neprodukují žádný hluk a při výrobě elektřiny nevzniká žádný odpad. Nevýhodou je vysoká počáteční investice na pořízení solárních panelů, střídačů, baterií, elektroinstalace a instalace. Další nevýhodou je účinnost závislá na počasí, protože solární panely jsou závislé na slunečním světle během noci nebo při zatažené obloze vyrábějí méně elektřiny.

4 Vlastní práce

V této části je za pomoci metod vícekritériální analýzy variant vybrán fotovoltaický panel podle kritérií, která jsou při výběru solárního panelu nejdůležitější. Jednotlivé váhy kritéria jsou následně ohodnoceny Saatyho metodou pro následné sestavení modelu, který je řešen metodou AHP.

4.1 Rozhodovatel

Rozhodovatelem byl zaměstnanec pracující jako technický specialista v pražské firmě zabývající se developmentem solárních elektráren. Jeho úkolem bylo vybrat vhodný panel pro solární elektrárnu na ploše 10 ha. Hlavním požadavkem byly nízké náklady na solární panel. Dalším požadavkem byla co možná největší účinnost panelu a jeho výkon za účelem maximalizace zisku. V hledem k tomu, že se jedná o poměrně velkou investici, byl kladen důraz na záruku solárního panelu. Kvůli nákladům spojeným s instalací této solární elektrárny byl také kladen důraz na hmotnost panelů, která se promítne hlavně u velkého počtu fotovoltaických panelů pohybující se v řádech tisíců.

4.2 Kritéria

Při výběru solárního panelu je mnoho kritérií, která by mohla ovlivnit jeho výběr, ale jako nejzásadnějších bylo zvoleno pět kritérií, které nejvíce ovlivňují výběr solárního panelu.

Zvolená kritéria:

1. Cena
2. Účinnost
3. Výkon
4. Záruka
5. Váha

4.2.1 Cena

Kritérium cena představuje pouze náklady za pořízení jednoho fotovoltaického panelu od konkrétní společnosti. Nezahrnuje ostatní náklady spojené s instalací solární elektrárny. Pro každého rozhodovatele je dobré snažit se dosáhnout za co nejméně peněz co nejlepšího výsledku, proto bude toto kritérium minimalizační.

4.2.2 Účinnost

Účinnost solárního panelu vyjadřuje jeho schopnost přeměnit sluneční světlo na elektrickou na elektrickou energii na m^2 . Kdyby měl panel účinnost 20 % na m^2 , znamená to, že 20 % světla, které zachytí, je využito k výrobě elektrické energie. Je zřejmé, že pro zajištění nejlepší účinnost panelu bude požadovaná účinnost co možná největší, proto je toto kritérium maximalizační.

4.2.3 Výkon

Výkon fotovoltaického panelu udává maximální množství energie, které je možné vyrobit za příznivých podmínek. Výkony jednotlivých panelů jsou přepočtené na m^2 , aby se zohlednily různé výkony a rozměry jednotlivých panelů. Jelikož je žádoucí co nejefektivnější využití určitého prostoru, bude toto kritérium maximalizační.

4.2.4 Záruka

Záruka u fotovoltaických panelů je důležitým parametrem vzhledem k tomu, že představují dlouhodobou investici. Záruku ovlivňuje několik aspektů, které představuje záruka na materiál, záruka na výkon a jeho hodnota. Vzhledem k tomu, že délka záruční doby odráží spolehlivost a kvalitu panelu, je dobré zvolit panel s co možná nejdělsí zárukou. Tím pádem se jedná o maximalizační kritérium.

4.2.5 Hmotnost

Váha fotovoltaického panelu je ovlivněna především materiálem, ze kterého je panel vyrobený, a jeho velikostí. Fotovoltaické panely se především instalují na vyvýšených místech jako jsou střechy nebo kovové konstrukce, k čemuž je nutné využít lidských zdrojů. Proto bude menší váha považovaná za lepší a jedná se o kritérium minimalizační.

4.3 Varianty fotovoltaických panelu

Jednotlivé fotovoltaické panely, které jsou uvažovány, byly vybrány od jedněch z nejznámějších světových výrobců monokrystalických fotovoltaických panelu působících na českém trhu. Jednotlivá data a specifikace byly čerpaná z technických listů od výrobců fotovoltaických panelů. Celkem bylo vybráno 8 fotovoltaických panelů.

Fotovoltaické panely:

1. JA Solar 550W bifacial;
2. Jinko Solar Tiger Neo N-type 72HL4 580W;
3. TW SOLAR Tongwei 550W;
4. Risen Energy 545W bifacial;
5. JA Solar 500W;
6. LEAPTON SOLAR N-type 570W;
7. Longi 530W;
8. SUNPRO 540W.

4.3.1 JA Solar 550 W Bifacial

Fotovoltaický panel od výrobce JA Solar má jmenovitý výkon 550 W. Konkrétně se jedná o modul JAM72D30 550 MB Bifacial ve stříbrném rámu, který je ideální pro pozemní instalaci. Bifacialní panel znamená, že panel je oboustranný, což zvyšuje jeho účinnost v konkrétním případě na 21,2 %. Rozměry panelu jsou 2285 × 134 × 35 mm a jeho váha je 31,6 kg, Záruka na materiál panelu je 12letá a na lineární výstupní výkon panelu je 30letá. Přičemž jeho zaručený výkon po 30 letech je minimálně 85 % z původního výkonu. Cena jednoho kusu takového panelu je 3400 Kč (NEJPANELY, 2024).

4.3.2 Jinko Solar Tiger Neo N-type 72HL4 580 W

Od výrobce Jinko Solar byl vybrán modul JKM580N-72HL4-V usazený ve stříbrném rámu se jmenovitým výkonem 580 W a účinností 22,45 %. Cena jednoho kusu takového panelu je 3150 Kč. Rozměry panelu jsou 2278 × 1134 × 35 mm a jeho váha je 28 kg. Záruka na materiál panelu je 12letá a na lineární výstupní výkon panelu je 30letá. Zaručený výkon panelu po 30 letech je minimálně 87,4 % z původního výkonu (NEJPANELY, 2024).

4.3.3 TW SOLAR Tongwei 550 W

Fotovoltaický panel s nejvyšší cenou za kus je modul TWMPD-72HS550 usazený ve stříbrném rámu od výrobce TW Solar se jmenovitým výkonem 550 W a účinností 21,3 %. Cena za jeden kus tohoto panelu je 3600 Kč. Rozměry panelu jsou 2278 × 1134 × 35 mm a jeho váha je 27,8 kg. Záruka na materiál panelu je 12letá a na lineární výstupní výkon panelu je 25letá. K tomu jeho zaručený výkon po 25 letech je minimálně 84,8 % z původního výkonu (NEJPANELY, 2024).

4.3.4 Risen Energy 545 W Bifacial

Nejtěžším z vybraných panelů je modul RSM110-8-545BMDG usazený ve stříbrném rámu od výrobce Risen Energy se jmenovitým výkonem 545 W a účinností 20,9 %. Jako u předem zmiňovaného panelu od výrobce JA Solar je tento panel také bifaciální s cenou jednoho kusu 3350 Kč. Rozměry panelu jsou $2384 \times 1134 \times 30$ mm a jeho váha je 33,5 kg, Záruka na materiál panelu je 12letá a na lineární výstupní výkon panelu je 30letá, přičemž jeho zaručený výkon po 30letech je minimálně 84,8 % z původního výkonu (NEJPANELY, 2024).

4.3.5 JA Solar 500 W

Od výrobce JA Solar bude využit modul JAM66S30-500/MR usazený ve stříbrném rámu se jmenovitým výkonem 500 W a účinností 21,1 %. Cena jednoho kusu je 2900 Kč. Rozměry panelu jsou $2093 \times 1134 \times 30$ mm a jeho váha je 26,3 kg, Záruka na materiál panelu je 12letá a na lineární výstupní výkon panelu je 25letá, přičemž jeho zaručený výkon po 25letech je minimálně 84,8 % z původního výkonu (NEJPANELY, 2024).

4.3.6 LEAPTON SOLAR N-type 570 W

Společnost LEAPON SOLAR je zastoupena modulem LP182-M-72-NH N-Type se jmenovitým výkonem 570 W a účinností 22,06 %. Cena jednoho kusu vychází na 2850 Kč. Výrobce poskytuje nejdelší záruku mezi vybranými panely. Panel je vyroben pomocí technologie N-Type, která zlepšuje dlouhodobý výkon, bifaciálnost a vysokoteplotní výkon v porovnání s ostatními panely. Rozměry panelu jsou $2279 \times 1134 \times 30$ mm a jeho váha je 27 kg, Záruka na materiál panelu je 25letá a na lineární výstupní výkon panelu je 30letá, přičemž jeho zaručený výkon po 30letech je minimálně 87,1 % z původního výkonu (NEJPANELY, 2024).

4.3.7 Longi 530 W

Fotovoltaickým panelem od výrobce Longi se stal modul LR5-66HTH-530M se jmenovitým výkonem 530 W a účinností 22,3 %. Cena jednoho kusu dosahuje 3357 Kč. Rozměry panelu jsou $2094 \times 1134 \times 35$ mm a jeho váha je 26 kg, Záruka na materiál panelu je 15letá a na lineární výstupní výkon panelu je 25letá. Zaručený výkon panelu po 25letech je minimálně 88,9 % z původního výkonu (NEOSOLAR, 2024).

4.3.8 SUNPRO 540 W

Od výrobce SUNPRO byl vybrán modul SP-540-144M se jmenovitým výkonem 540 W a účinností až na 20,89 %. Cena za jeden kus je 3357 Kč. (Q-ELEKTRIK, 2024).

Rozměry panelu jsou 2279 × 1134 × 35 mm a jeho váha je 29 kg. Záruka na materiál panelu je 12 let a na lineární výstupní výkon panelu je 25 let, přičemž jeho zaručený výkon po 25 letech je minimálně 85,28 % z původního výkonu (GBCSolino, 2024).

4.4 Bodové ohodnocení

V následující tabulce jsou hodnoty kritéria záruka převedeny na body, která jsou udělovány v rozmezí od jedné do deseti. Nejvyšší počet bodu získá nejlepší varianta a nejnižší ta nejhorší. Konečný výsledek získaných bodu byl ovlivněn třemi hodnotami. První z nich je záruka na materiál, také nazývaná záruka na mechanické poškození, jejíž doba se v tomto případě pohybuje v rozmezí 12-25 let. Mezi mechanické záruky pokrývající poškození a závady během výroby patří záruka na fyzické poškození běžným používáním. Jako záruka na fyzické poškození se klasifikuje prasknutí rámu, dále problémy s konektory či poškození skel běžným užíváním. Záruky na materiál trvající 12 let získaly jeden bod, 15 let získaly dva body a 25 let získaly tři body. Záruka na výkon panelu je zárukou na schopnost zachovat specifikovanou výši účinnosti ve stanoveném období 25–30 let. Tato záruka uvádí, že solární panely budou schopny vyprodukovat minimálně takovou hodnotu vyjádřenou v procentech pojmenovanou jako zaručený výkon po skončení záruky z jejich původního jmenovitého výkonu. Záruka na výkon panelu v délce 30 let byla s výkonem po záruce 87,4 % ohodnocena sedmi body. Záruka na výkon panelu v délce 30 let byla s výkonem po záruce 84,8-85 % ohodnocena šesti body. Záruka na výkon panelu v délce 25 let byla s výkonem po záruce 84,8 % ohodnocena třemi body. Záruka na výkon panelu v délce 25 let byla s výkonem po záruce v rozmezí 88,9-85,28 % ohodnocena čtyřmi body.

Tabulka 2 – Kritérium záruka

Varianty/Kritéria	Záruka na materiál (roky)	Záruka na výkon panelu (roky)	Zaručený výkon po skončení záruky (%)	Získané body
JA Solar	12	30	85	7
Jinko Solar	12	30	87,4	8
Tongwei	12	25	84,8	4
Risen Energy	12	30	84,8	7
JA Solar 2	12	25	84,8	4
Leapon Solar	25	30	87,4	10
Longi	15	25	88,9	6
SUNPRO	12	25	85,28	5

Zdroj: vlastní zpracování

Po přepočtu kritéria záruky na body je vytvořena kritériální matice.

Tabulka 3 – Kritériální matice

Povaha kritéria	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN
Varianta/Kritéria	Cena (Kč)	Účinnost (%)	Výkon (W/m ²)	Záruka (Body)	Hmotnost (Kg)
JA Solar	3400	21,2	212	7	31,6
Jinko Solar	3150	22,45	225	8	28
Tongwei	3600	21,3	213	4	27,8
Risen Energy	3350	20,9	209	7	33,5
JA Solar 2	2900	21,1	211	4	26,3
Leapon Solar	2850	22,06	221	10	27
Longi	3357	22,3	223	6	26
SUNPRO	3146	20,89	209	5	29

Zdroj: vlastní zpracování

4.5 Výběr kompromisní varianty

Kompromisní varianta nejlépe vyhovuje preferencím rozhodovatele, i když to znamená že v některých kritérii nedosáhne na nejlepší možný výsledek.

4.5.1 Stanovení vah kritérií pomocí Saatyho metody

Přiřazení vah jednotlivým kritériím v tomto modelu je provedeno pomocí Saatyho metody. Jelikož se jedná o subjektivní metodu tak jsou jednotlivé váhy kritérii ovlivněny podle preferencemi rozhodovatele. Součet těchto vah se musí rovnat jedné. Saatyho metoda je založena na kvantitativním párovém porovnávání, které probíhá srovnáváním každého kritéria s ostatními kritérii pomocí Saatyho stupnice, která velmi výstižně znázorňuje preference rozhodovatele. Konzistence hodnot v matici bude ověřena pomocí consistency ratio (CR) pokud vyjde $CR \leq 0,1$ známé na to, že Saatyho matice je konzistentní.

Tabulka 4 – Výpočet vah pomocí Saatyho metody

Kritéria	Cena	Účinnost	Výkon	Záruka	Hmotnost	geom. ϕ	Váhy
Cena	1	2	3	5	6	2,8252	0,4258
Účinnost	0,5	1	2	4	5	1,8206	0,2744
Výkon	0,3333	0,5	1	3	4	1,1487	0,1731
Záruka	0,2	0,25	0,3333	1	2	0,5065	0,0763
Hmotnost	0,1667	0,2	0,25	0,5	1	0,3342	0,0504
Celkem					$\Sigma=$	6,6352	1

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 5 – Konzistence pro výpočet vah

n	λ max	CI	RI	CR
5	5,0983	0,0246	1,12	0,0219

Matice je konzistentní CR = 0,0219

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 6 – Výpočet vah pomocí Saatyho metody

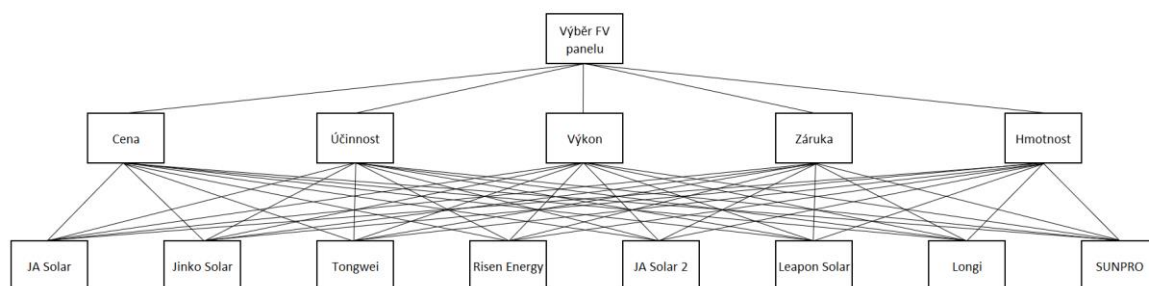
Kritéria	Váhy
Cena	0,4258
Účinnost	0,2744
Výkon	0,1731
Záruka	0,0763
Hmotnost	0,0504
Celkem	$\Sigma=1$

Zdroj: vlastní zpracování

4.5.2 Výběr ideálního fotovoltaického panelu pomocí metody AHP

Metoda AHP používá párového porovnávání různých úrovní v hierarchii. Hierarchie má mnoho úrovní, přičemž každá úroveň má své prvky. Tento model má tři úrovně. Na jeho vrcholu, první úrovni, je uveden hlavní cíl, kterým je výběr kompromisního fotovoltaického panelu. Tato úroveň se zabývá pouze celkovými cíli souvisejícími s výběrem fotovoltaického panelu. Další, druhá úroveň představuje kritéria, která jsou zásadní pro to, aby mohlo dojít k ohodnocení jednotlivých variant. Při pohybu po hierarchii směrem dolů, na třetí a poslední úrovně, zde jsou představeny různé varianty fotovoltaických panelů. Užitek těchto variant je určen na základě kritérií vytvořených v předchozím stupni výše

Obrázek 2 - Hierarchická struktura model



Zdroj: vlastní zpracování

Cílem tohoto přístupu, který může obsahovat mnoho variant, je dosáhnout kompromisní varianty. K tomu slouží pět kritériálních matic pro hodnocení kompromisů, které odpovídají pěti kritériím porovnávaným v modelu. Prvním krokem je výpočet dílčích hodnot užitku pro každé kritérium na základě Saatyho metody. Nejprve je třeba vydělit geometrický průměr každé varianty celkovým součtem geometrických průměrů, tím se získají normované geometrických průměrů poté jsou normované hodnoty vynásobeny příslušnými váhami kritérií, za účelem zjištění dílčích užitků každé možnosti. Ke zjištění konzistence takové matice bude použit poměr konzistence (CR), pokud je hodnota CR rovna nebo menší než 0,1, pak je matice konzistentní. Celkový užitek se následně vypočte jako součet všech dílčích užitku, varianta s hodnotou užitku vyšší, než u všech ostatních variant je považovaná za kompromisní variantu.

Tabulka 7 – Matice pro kritérium cena

Cena	JA Solar	Jinko Solar	Tongwei	Risen Energy	JA Solar 2	Leapon Solar	Longi	SUNPRO	geom. ø	normování
JA Solar	1	0,25	3	0,5	0,1667	0,1429	0,5	0,25	0,4275	0,0362
Jinko Solar	4	1	6	3	0,3333	0,25	3	1	1,4352	0,1217
Tongwei	0,3333	0,1667	1	0,25	0,125	0,1111	0,25	0,1667	0,2307	0,0196
Risen Energy	2	0,3333	4	1	0,2	0,1667	1	0,3333	0,6441	0,0546
JA Solar 2	6	3	8	5	1	0,5	5	3	2,9279	0,2482
Leapon Solar	7	4	9	6	2	1	6	4	4,0513	0,3434
Longi	2	0,3333	4	1	0,2	0,1667	1	0,3333	0,6441	0,0546
SUNPRO	4	1	6	3	0,3333	0,25	3	1	1,4352	0,1217
Celkem								Σ=	11,7961	1,0000

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 8– Konzistence pro kritérium cena

n	λ max	CI	RI	CR
8	8,3279	0,0468	1,41	0,0332

Matice je konzistentní $CR \leq 0,1$

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 9 – Matice pro kritérium účinnost

Účinnost	JA Solar	Jinko Solar	Tongwei	Risen Energy	JA Solar 2	Leapon Solar	Longi	SUNPRO	geom. ø	normování
JA Solar	1	0,1667	0,5	3	2	0,3	0,2	3	0,7234	0,0599
Jinko Solar	6	1	5	8	7	3	2	8	4,1051	0,3400
Tongwei	2	0,2	1	4	3	0,3333	0,25	4	1,0605	0,0878
Risen Energy	0,3333	0,125	0,25	1	0,5	0,1667	0,1429	1	0,3248	0,0269
JA Solar 2	0,5	0,1429	0,3333	2	1	0,2	0,1667	2	0,4872	0,0404
Leapon Solar	4	0,3333	3	6	5	1	0,5	6	2,0871	0,1729
Longi	5	0,5	4	7	6	2	1	7	2,9592	0,2451
SUNPRO	0,3333	0,125	0,25	1	0,5	0,1667	0,1429	1	0,3248	0,0269
Celkem								Σ=	12,0721	1,0000

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 10 – Konzistence pro kritérium účinnost

n	λ max	CI	RI	CR
8	8,2936	0,0419	1,41	0,0297

Matice je konzistentní $CR \leq 0,1$

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 11 – Matice pro kritérium Výkon

Výkon	JA Solar	Jinko Solar	Tongwei	Risen Energy	JA Solar 2	Leapon Solar	Longi	SUNPRO	geom. ϕ	normování
JA Solar	1	0,1429	0,5	3	2	0,2	0,1667	3	0,6745	0,0525
Jinko Solar	7	1	6	9	8	3	2	9	4,4835	0,3488
Tongwei	2	0,1667	1	4	3	0,25	0,2	4	0,9725	0,0757
Risen Energy	0,3333	0,1111	0,25	1	0,5	0,1429	0,1250	1	0,3088	0,0240
JA Solar 2	0,5	0,125	0,3333	2	1	0,1667	0,1429	2	0,4594	0,0357
Leapon Solar	5	0,3333	4	7	6	1	0,5	7	2,3654	0,1840
Longi	6	0,5	5	8	7	2	1	8	3,2813	0,2553
SUNPRO	0,3333	0,1111	0,25	1	0,5	0,1429	0,1250	1	0,3088	0,0240
Celkem								$\Sigma=$	12,8543	1,0000

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 12 – Konzistence pro kritérium výkon

n	λ max	CI	RI	CR
8	8,3415	0,0488	1,41	0,0346

Matice je konzistentní $CR \leq 0,1$

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 13 – Matice pro kritérium Záruka

Záruka	JA Solar	Jinko Solar	Tongwei	Risen Energy	JA Solar 2	Leapon Solar	Longi	SUNPRO	geom. ϕ	normování
JA Solar	1	0,5	5	1	5	0,2500	3	4	1,5731	0,1339
Jinko Solar	2	1	6	2	6	0,3	4	5	2,3593	0,2009
Tongwei	0,2	0,1667	1	0,2	1	0,1250	0,3333	0,5	0,3295	0,0281
Risen Energy	1	0,5	5	1	5	0,2500	3	4	1,5731	0,1339
JA Solar 2	0,2	0,167	1	0,2	1	0,1250	0,3333	0,5	0,3295	0,0281
Leapon Solar	4	3	8	4	8	1	6	7	4,3535	0,3707
Longi	0,3333	0,25	3	0,3333	3	0,2	1	2	0,7330	0,0624
SUNPRO	0,25	0,2	2	0,25	2	0,1429	0,5	1	0,4944	0,0421
Celkem								$\Sigma=$	11,7453	1,0000

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 14 – Konzistence pro kritérium Záruka

n	λ max	CI	RI	CR
8	8,2702	0,0386	1,41	0,0274

Matice je konzistentní $CR \leq 0,1$

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 15 – Matice pro kritérium Hmotnost

Hmotnost	JA Solar	Jinko Solar	Tongwei	Risen Energy	JA Solar 2	Leapon Solar	Longi	SUNPRO	geom. ϕ	normovaní
JA Solar	1	0,3333	0,25	2	0,1429	0,2	0,125	0,5	0,3624	0,0296
Jinko Solar	3	1	0,5	4	0,2	0,3333	0,1667	2	0,7774	0,0636
Tongwei	4	2	1	5	0,25	0,5	0,2	3	1,1472	0,0939
Risen Energy	0,5	0,25	0,2	1	0,125	0,2	0,1111	0,3333	0,2574	0,0211
JA Solar 2	7	5	4	8	1	3	0,5	6	3,1654	0,2590
Leapon Solar	5	3	2	6	0,3333	1	0,25	4	1,6683	0,1365
Longi	8	6	5	9	2	4	1	7	4,3185	0,3533
SUNPRO	2	0,5	0,3333	3	0,1667	0,25	0,1429	1	0,5270	0,0431
Celkem								$\Sigma=$	12,2236	1,0000

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 16 – Konzistence pro kritérium Hmotnost

n	λ max	CI	RI	CR
8	8,3629	0,0518	1,41	0,0368

Matice je konzistentní $CR \leq 0,1$

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 17 – Výpočet celkového užítku

Varianta/Kriteria	Cena	Účinnost	Výkon	Záruka	Hmotnost	Celkový užitek
JA Solar	0,0154	0,0164	0,0091	0,0102	0,0015	0,0527
Jinko Solar	0,0518	0,0933	0,0604	0,0153	0,0032	0,2240
Tongwei	0,0083	0,0241	0,0131	0,0021	0,0047	0,0524
Risen Energy	0,0233	0,0074	0,0042	0,0102	0,0011	0,0461
JA Solar 2	0,1057	0,0111	0,0062	0,0021	0,0130	0,1381
Leapon Solar	0,1462	0,0474	0,0319	0,0283	0,0069	0,2607
Longi	0,0233	0,0673	0,0442	0,0048	0,0178	0,1573
SUNPRO	0,0518	0,0074	0,0042	0,0032	0,0022	0,0687
Celkem					$\Sigma=$	1,0000

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 18 – Pořadí variant

Varianta	Celkový užitek	Pořadí
Leapon Solar	0,2607	1.
Jinko Solar	0,2240	2.
Longi	0,1573	3.
JA Solar 2	0,1381	4.
SUNPRO	0,0687	5.
JA Solar	0,0527	6.
Tongwei	0,0524	7.
Risen Energy	0,0461	8.
Celkem	$\Sigma = 1$	

Zdroj: vlastní zpracování

V Tabulka 18 – Pořadí variant, je uvedené výsledné pořadí variant vypočtené pomocí metody AHP. Nejlépe se umístil panel Leapon Solar N-type 570 W, který dominoval nad ostatní varianty v kritériích cena, záruka a hmotnost. Celkové umístění této varianty je do značné míry ovlivněné kritériem cena, které má váhu 0,426. Kritéria záruka s vahou 0,076 přispělo k celkovému umístění dané varianty na prvním místě. Druhé místo získal fotovoltaický panel Jinko Solar Tiger Neo N-type 72HL4 580 W na třetím místě se umístil panel Longi 530 W. Na čtvrtém místě se umístil panel JA Solar 500 W, na pátém místě SUNPRO 540 W, na šestém místě JA Solar 550 W, na sedmém místě TW SOLAR Tongwei 550 W a na posledním osmém místě Risen Energy 545 W.

5 Výsledky a diskuse

Cílem praktické části bylo nalézání kompromisní varianty z uvedených fotovoltaických panelů pro následnou instalaci v solární elektrárně. Kritéria byla vybrána na základě studii zaměřených na výběr fotovoltaických panelů a na základě konzultace s odborníky. Výpočet vah kritérií byl proveden pomocí Saatyho metody a jednotlivé váhy určeny podle osobních preferencí rozhodovatele.

Pomocí Metody AHP byli vypočteny celkové užítky pro každou variantu fotovoltaického panelu. Ideální variantou je panel Leapon Solar N-type 570 W, který nejlépe odpovídal stanoveným kritériím. Nejlepšího hodnocení dosáhnul panel v kritériích cena a záruka, váha těchto kritérií dohromady činila 0,5 s celkovým užítkem 0,261, což stačilo k získání prvního místa. V ostatních kritériích si panel vedl také velmi dobře výkon byl ohodnocen jako druhý nejlepší a jeho účinnost a hmotnost byla ohodnocena jako třetí nejlepší.

Druhé místo získal fotovoltaický panel Jinko Solar Tiger Neo N-type 72HL4 580 W s celkovým užítkem 0,224, který se umístil na nejlepším místě u kritériích účinnost a výkon, váha těchto kritérií dohromady činila 0,45. Nejdůležitější kritérium je cena, ve kterém se panel umístil na čtvrtém místě a u kritéria záruka je ohodnocený jako druhý nejlepší, ale u kritéria hmotnost se ocitl až na 5 místě.

Na třetím místě skončil panel Longi 530 W s celkovým užítkem 0,157, který měl nejlepší umístění v kritériu hmotnost na prvním místě. V obou kritériích účinnost a výkon byl hodnocen jako druhý nejlepší, ale u kritérií záruka a cena se ocitl na posledních místech.

Následné čtvrté místo získal JA Solar 500 W s celkovým užítkem 0,138. U kritérií cena a hmotnost byl hodnocen druhým nejlepším místem, ale u ostatních kritérií byl hodnocen jako jeden z nejhorších.

Páté místo získal panel SUNPRO540 W s celkovým užítkem 0,069. Panel si vedl průměrně v kritériích hmotnost a cena, ale v kritériích účinnost, výkon a záruka si vedl o poznání hůř a umisťoval se mezi nejhoršími možnými alternativami.

Na šestém místě se umístil panel JA Solar 550 W s celkovým užítkem 0,053. U kritérií se umisťoval na 5–7 pozici až na kritérium záruka kde byl třetím nejlepším.

Předposledním místo získal panel TW SOLAR Tongwei 550 W s celkovým užitekem 0,052. Nejhůře si vedl v kritériu cena a záruka kde u obou získal poslední místo u ostatních kritérií se pohyboval mezi okolo 4 místa.

Nejhůře byl ohodnocen na poslední osmém místě panel Risen Energy 545 W s celkovým užitekem 0,046, který nedominoval v žádném kritériu a umísťoval se v hodnocení na posledních místech jedinou výjimkou byla záruka kde byl hodnocen jako třetí nejlepší.

Z dat vyplivá že nejvhodnějším panelem je Leapon Solar N-type 570 W, který je doporučen k instalování v solární elektrárně.

6 Závěr

Hlavní cílem této bakalářské práce bylo nalezení ideálního fotovoltaického panelu pro solární elektrárnu tak, aby co nejlépe splňoval zvolená kritéria. Výběr fotovoltaických panelů byl proveden na základě metod vícekriteriální analýzy variant.

V teoretické části, která byla zpracována na podkladě studia odborné literatury, byl model vícekriteriální analýzy variant blíže představen. Byly zde představeny a charakterizovány komponenty modelu VAV, jako jsou preference, varianty, kritéria a váhy.

Druhá část pak byla zaměřena na praktické využití daných metod. K určení vah kritérií byla použita Saatyho metoda párového porovnání a následné nalezení kompromisní varianty bylo uskutečněno pomocí metody AHP.

Z výsledků vyplývá, že nejlepší variantou bude fotovoltaický panel Leapon Solar N-type 570 W, který svou nízkou cenou a dlouhou zárukou ovládl výsledné hodnocení. Ostatní parametry varianty byly také hodnoceny jako jedny z nejlepších. Od získání prvního místa v kritériu účinnost ho dělil rozdíl 0,15 % od nejlepší varianty a u kritéria výkon to byly pouze 2 W na m². Fotovoltaický panel byl následně doporučen rozhodovateli k instalaci v solární elektrárně. Rozhodovatel se podle výsledku rozhodl řídit a využil zmiňovaný fotovoltaický panel v žádosti o připojení k distribuční soustavě. Bohužel žádosti nebylo vyhověno, neboť kapacita zařízení distribuční soustavy na napěťové hladině je v dané lokalitě již zcela vyčerpána.

7 Seznam použitých zdrojů

Tuzemské:

FIALA, Petr. Modely a metody rozhodování. Praha: Nakladatelství Oeconomica, 2006. ISBN 80-245-0622-X.

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

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

ČEZ. Solární články. ČEZ [online]. 2020 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>

Enkidoo. Fotovoltaický článek. Enkidoo [online]. 2021 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.enkidoo.cz/clanky/jak-funguje-fotovoltaicky-clanek-jaka-je-jeho-struktura-vse-vam-vysvetlime-jednoduse-a-srozumitelne>

ARPEG. Typy fotovoltaických panelů a jejich vlastnosti. ARPEG [online]. 2024 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.arpeg.cz/poradna/typy-fotovoltaickych-panelu-a-jejich-vlastnosti>

EnergSolar. Komplexní průvodce různými typy solárních panelů. EnergSolar [online]. 2023 [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://www.energSolar.cz/komplexni-pruvodce-ruznymi-typy-solarnich-panelu>

SolidSun. Intenzita slunečního záření v České republice: vyplatí se vlastní solární elektrárna. SolidSun [online]. 2022 [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.solidsun.cz/blog/intenzita-slunecniho-zareni-v-ceske-republice-vyplati-se-vlastni-solarni-elektrarna>

HLADÍK, Richard. Amorfni solární panely. Evolty [online]. 2023 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://evolty.cz/solarni-panely/amorfni-solarni-panely/>

NOS, Filip. Základní možnosti připojení fotovoltaické elektrárny. Estav [online]. 2018 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6456.fotovoltaika-jak-se-lisi-zarizeni-pro-primou-spotrebu-a-pro-prodej-elektricke-energie-do-site>

NEJPANELY. Bifaciální solární panel JA Solar 550Wp stříbrný rám. NEJPANELY [online]. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.nejpany.cz/bifacialni-solarni-panel-ja-solar-550wp-stribny-ram/>

NEJPANELY. Technický list JA Solar 550Wp. NEJPANELY [online]. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: https://www.nejpany.cz/user/related_files/550_mb.pdf

- NEJPANELY. Fotovoltaický solární panel Jinko Solar 72HL4 580Wp stříbrný rám. NEJPANELY [online]. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.nejpanely.cz/fotovoltaicky-solarni-panel-jinko-solar-72hl4-580wp-stribrny-ram-zaruka-30-let-na-vykon/>
- NEJPANELY. Technický list JA Solar 550 Jinko Solar 580Wp. NEJPANELY [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: [https://www.nejpanely.cz/user/related_files/jkm565-585n-72hl4-\(v\)-f2-en.pdf](https://www.nejpanely.cz/user/related_files/jkm565-585n-72hl4-(v)-f2-en.pdf)
- NEJPANELY. Fotovoltaický solární panel Tongwei 550Wp stříbrný rám. NEJPANELY [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.nejpanely.cz/fotovoltaicky-solarni-panel-tongwei-550wp-stribrny-ram/>
- NEJPANELY. Technický list Tongwei 550Wp. NEJPANELY [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.nejpanely.cz/fotovoltaicky-solarni-panel-tongwei-550wp-stribrny-ram/>
- NEJPANELY. Bifaciální solární panel Risen Energy 545Wp stříbrný rám. NEJPANELY [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.nejpanely.cz/bifacialni-solarni-panel-risen-energy-545wp-stribrny-ram/>
- NEJPANELY. Technický list Risen Energy 545Wp. NEJPANELY [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: https://www.nejpanely.cz/user/related_files/risen_rsm-110-8-bmdg_datasheet.pdf
- NEJPANELY. Fotovoltaický solární panel JA Solar 500Wp černý rám. NEJPANELY [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.nejpanely.cz/fotovoltaicky-solarni-panel-ja-solar-500wp-cerny-ram/>
- NEJPANELY. Technický list JA Solar 500Wp. NEJPANELY [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: https://www.nejpanely.cz/user/related_files/tech_list_ja_500w.pdf
- NEJPANELY. Fotovoltaický solární panel LEAPTON N-Type 570Wp. NEJPANELY [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.nejpanely.cz/paleta-36ks--fotovoltaicky-solarni-panel-leapton-n-type-570wp--full-black--zaruka-30-let-na-vykon/>
- NEJPANELY. Technický list LEAPTON 570Wp. NEJPANELY [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: https://www.nejpanely.cz/user/related_files/lpt570fb_ds.pdf
- NEOSOLAR. Solární panel Longi 530Wp. NEOSOLAR [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://eshop.neosolar.cz/solarni-panel-longi-530wp-paleta-31-ks/>
- NEOSOLAR. Technický list Longi 530Wp. NEOSOLAR [online]. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://eshop.neosolar.cz/documents/5121/CS/Datasheet%20Longi%20LR5-66HTH%20520-540M%20CZ.pdf>
- Q-ELEKTRIK. Solární panel SUNPRO SP-540-144M. Q-ELEKTRIK [online]. 2024

[cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://elektro.q-elektrik.cz/fotovoltaicky-panel-540w-sunpro-sp-540-144m>
GBCSolino. Technický list Longi 530Wp. GBCSolino [online].2024 [cit. 2024-03-11].
Dostupné z:
https://gbcsolino.cz/wpcontent/uploads/2022/05/DS_SUNPRO_SP540_144M10_15years-EN-1.pdf

Zahraniční:

VINAYAGAMOORTHI,R. a kol. Recycling of end of life photovoltaic solar panels and recovery of valuable components: A comprehensive review and experimental validation [online]. 2024. [cit. 2024-03-08]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343723024545?via%3Dihub>

ZELE, Sarita a kol. Experimental investigation on utilization of crushed solar panel waste as sand replacement in concrete [online]. 2024.[cit. 2024-03-02].Dostupné_z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X2400032X?via%3Dihub>

8 Seznam obrázku a tabulek a vzorců

8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Hierarchická struktura	24
Obrázek 2 - Hierarchická struktura model	34

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Schéma Fullerova trojúhelníku	19
Tabulka 2 – Kritérium záruka	32
Tabulka 3 – Kriteriaální matice	33
Tabulka 4 – Výpočet vah pomocí Saatyho metody	33
Tabulka 5 – Konzistence pro výpočet vah	34
Tabulka 6 – Výpočet vah pomocí Saatyho metody	34
Tabulka 7 – Matice pro kritérium cena	35
Tabulka 8– Konzistence pro kritérium cena	35
Tabulka 9 – Matice pro kritérium účinnost	35
Tabulka 10 – Konzistence pro kritérium účinnost	36
Tabulka 11 – Matice pro kritérium Výkon	36
Tabulka 12 – Konzistence pro kritérium výkon	36
Tabulka 13 – Matice pro kritérium Záruka	36
Tabulka 14 – Konzistence pro kritérium Záruka	37
Tabulka 15 – Matice pro kritérium Hmotnost	37
Tabulka 16 – Konzistence pro kritérium Hmotnost	37

Tabulka 17 – Výpočet celkového užitku	37
Tabulka 18 – Pořadí variant	38

8.3 Seznam vzorců

Vzorec 1 – Kriteriaální matice	15
Vzorec 2 – Normalizace vah kritérii	18
Vzorec 3 – Počet srovnání	18
Vzorec 4 – Váha prvku	18
Vzorec 5 – Váha kritéria	19
Vzorec 6 – Saatyho matice	20
Vzorec 7 – Index konzistence	20
Vzorec 8 – Geometrický průměr řádku	21
Vzorec 9 – Normalizace hodnot	21
Vzorec 10 – Užitek dílčích variant při maximalizaci	21
Vzorec 11 – Užitek dílčích variant při minimalizaci	21
Vzorec 12 – Celkový užitek	22
Vzorec 13 – Normalizovaná kriteriaální matice R	22
Vzorec 14 – Normalizovaná vážená kriteriaální matice W	22
Vzorec 15 – Vzdálenosti jednotlivých variant od ideální varianty	22
Vzorec 16 – Vzdálenosti jednotlivých variant od bazální varianty	23
Vzorec 17 – Relativní ukazatele vzdáleností od bazální varianty	23
Vzorec 18 – Odhad vah v řádku v metodě AHP	23