

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra systémového inženýrství**



**Bakalářská práce**

**Aplikace rozhodovacích metod pro výběr vrtné soupravy  
v prostředí konkrétní společnosti**

**Jan Škoda**

©2023 ČZU v Praze



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Škoda

Ekonomika a management

Název práce

**Aplikace rozhodovacích metod pro výběr vrtné soupravy v prostředí konkrétní společnosti**

Název anglicky

**Application of decision-making methods for solving the drilling set selection problem in particular company**

### Cíle práce

Společnost Geotech, s.r.o. získala specifickou zakázku v oblasti geologického průzkumu a monitoringu pro velkou infrastrukturní stavbu, pro kterou potřebuje realizovat výběrové řízení na pořízení vrtné soupravy. Zakázku realizuje v režimu soukromoprávní soutěže. Cílem bakalářské práce je navrhnout vhodné rozhodovací metody pro provedení výběru výše uvedeného stroje a na základě podkladů od společnosti rovněž nejvhodnější stroj doporučit.

### Metodika

1. Studium literatury, literární rešerše
2. Představení společnosti
3. Analýza problémové situace, stanovení cíle rozhodování a profilu rozhodovatele
4. Tvorba rozhodovacího modelu
5. Propočítání modelu s konkrétními daty, výběr nejvhodnějšího stroje
6. Ekonomické zhodnocení výsledku, formulace závěrů a doporučení

## Doporučený rozsah práce

30-40 stran

## Klíčová slova

Výběrové řízení, rozhodovací proces, vícekriteriální analýza variant, vrtné soupravy, geologický průzkum

---

## Doporučené zdroje informací

HOLOUBEK, Josef. Ekonomicko-matematické metody. Třetí nezměněné vydání. V Brně: Mendelova univerzita, 2017. ISBN 978-80-7509-505-3.

KLEMPA, Martin, Jindřich ŠANCER, Jiří MALIŠ a Václav ZUBÍČEK. Technické průzkumné a vrtné práce: vrty pro hydrogeologické účely, vrtné práce v inženýrské geologii a geotechnice, vrtné práce ve stavebnictví. Ostrava: Marionetti Press, 2020. ISBN 978-80-905737-2-7.

KOŽÍŠEK, Jan, Barbora STIEBEROVÁ a Miroslav ŽILKA. Rozhodovací modely pro manažery v průmyslové praxi. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06698-0.

PINKA, Ján. Hydrogeologické a inženýrské vrty. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3938-7.

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

---

## Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – PEF

## Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Houška, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2023

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2023

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2023

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Aplikace rozhodovacích metod pro výběr vrtné soupravy v prostředí konkrétní společnosti" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.03.2023

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milanu Houškovi, Ph.D. za trpělivost a čas, který mi poskytoval při konzultacích a taktéž za odbornou pomoc, připomínky, a především za jeho ochotu.

# **Aplikace rozhodovacích metod pro výběr vrtné soupravy v prostředí konkrétní společnosti**

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá využitím rozhodovacích metod pro výběr vhodné vrtné soupravy v prostředí konkrétní společnosti. Cílem práce je vybrat nejvhodnější typ vrtné soupravy pro společnost za pomoci rozhodovacích metod. Na základě získaných dat bude vybrána vhodná rozhodovací metoda, která bude následně implementována. Výsledkem práce bude vypracovaná rozhodovací metoda pro výběr vrtné soupravy, která bude přizpůsobena potřebám dané společnosti a umožní snadné a rychlé rozhodování v této oblasti.

Práce také obsahuje literární rešerši, která je zaměřená na hydrogeologii, čím se hydrogeologie zabývá, hydrogeologický průzkum a také jednotlivé metody pro vícekriteriální rozhodování.

**Klíčová slova:** hydrogeologie, vrtná souprava, rozhodovací metody, vícekriteriální rozhodování, průzkum, kritérium, varianta, matice

# **Application of decision-making methods for solving the drilling set selection problem in particular company**

## **Abstract**

This thesis is concerned with the use of decision-making methods to select a suitable drilling rig in a specific company environment. The aim of the thesis is to select the most suitable type of drilling rig for the company using decision making methods. Based on the data collected, a suitable decision making method will be selected and then implemented. As a result of the thesis, a decision method will be developed for the selection of a drilling rig that will be adapted to the needs of the company and will allow easy and quick decision making in this area.

The thesis also includes a literature search that focuses on hydrogeology, what hydrogeology deals with, hydrogeological exploration and also the different methods for multi-criteria decision making.

**Keywords:** hydrogeology, drilling equipment, decision-making methods, multicriteria decision-making, survey, criteria, option, matrix



# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>12</b>
<b>3 Literární rešerše .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Hydrogeologie.....</b>	<b>13</b>
3.1.1 Vrtná souprava.....	13
3.1.2 Hydrogeologické účely a měření .....	13
3.1.3 Hydrogeologické průzkumy .....	14
3.1.4 Hydrogeologické mapování.....	15
3.1.5 Rozdělení hydrogeologický vrtů.....	16
3.1.6 Způsob vrtání hydrologických vrtů.....	17
3.1.7 Projektování a konstrukce hydrogeologických vrtů .....	21
<b>3.2 Metody vícekritériálního rozhodování.....</b>	<b>23</b>
3.2.1 Stanovení vah kritérií.....	24
3.2.2 Metoda párového porovnání .....	24
3.2.3 Metoda alokace 100 bodů.....	25
3.2.4 Metoda stanovení preferenčního pořadí .....	25
3.2.5 Saatyho metoda.....	25
3.2.6 Konzistence matice .....	27
3.2.7 Fulleruv trojúhelník .....	27
3.2.8 Metoda AHP .....	28
3.2.9 Metoda váženého součtu.....	28
3.2.10 Metoda TOPSIS .....	29
3.2.11 Metoda PROMETHEE .....	29
3.2.12 Metoda ELECTRE.....	30
3.2.13 Metoda VIKOR.....	30
<b>4 Praktická část .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 GeoTec-GS, a. s. ....</b>	<b>31</b>
<b>4.2 Rozhodovací model .....</b>	<b>32</b>
4.2.1 Kritéria v rozhodovacím modelu .....	35
4.2.2 Varianty v rozhodovacím modelu.....	36
<b>4.3 Výběr varianty.....</b>	<b>38</b>
<b>5 Závěr.....</b>	<b>43</b>
<b>6 Seznamy.....</b>	<b>44</b>
<b>6.1 Seznam tabulek.....</b>	<b>44</b>
<b>6.2 Seznam obrázků .....</b>	<b>44</b>

6.3	Seznam rovnic.....	44
6.4	Seznam příloh .....	44
7	Seznam použitých zdrojů.....	45
7.1	Internetové .....	45
7.2	Literární .....	45
8	Samostatné přílohy.....	I

# 1 Úvod

V běžném životě se člověk rozhoduje každý den. Každé jeho rozhodnutí, ať je správné nebo špatné, ovlivní jeho budoucnost. Mohou to být pro nás malicherná rozhodnutí jako například, co si dám k snídani nebo čím dnes pojedu do práce. I tato méně významná rozhodnutí dokážou ovlivnit náš život a život lidí kolem nás.

Obzvláště v pracovním procesu jsou právě taková rozhodování velice důležitá, protože je tím ovlivněna budoucnost nejen jednotlivce, ale i ostatních spolupracovníků i obchodní společnosti jako takové. Společnost zpravidla zaměstnává více než jednoho člověka, a v případě, že se společnost rozhodne špatně, může toto rozhodnutí ovlivnit chod celého podniku. Ve firmě se nejčastěji jedná o rozhodnutí, která se týkají finanční stránky podniku nebo o rozhodnutí, která se týkají strategie nebo směru vývoje společnosti. Právě k těmto rozhodnutím by společnost měla mít vyhotovené dostatečné množství podkladů, které jí naznačí, jaké prostředky a metody na základě těchto zpracovaných informací budou pro podnik v budoucnu nejefektivnější. Při zvažování a porovnávání více než jednoho kritéria nebo faktoru při hledání nejlepších možností řešení problémů se využívá vícekritériálního rozhodování.

Vícekritériální rozhodování se používá v mnoha oblastech jako například v podnikání, managementu, veřejné politice, ekonomii nebo v osobním životě. Tento proces nám umožňuje vyhodnocovat a porovnávat různé možnosti a výsledky z hlediska efektivity, nákladů, časového horizontu nebo jiných faktorů.

V bakalářské práci se budu zabývat právě tímto vícekritériálním rozhodováním při výběru vhodného typu vrtné soupravy k danému firemnímu projektu. V práci budou zohledňována kritéria, která jsou uvedena v příslušné projektové dokumentaci. Po vyhotovení práce budou tyto výsledky okomentovány.

## 2 Cíl práce a metodika

Cílem bakalářské práce je aplikace rozhodovacích metod pro výběr typu vrtné soupravy ve společnosti GeoTec, a. s.

### Metodika

Literární rešerše se vztahuje k těmto dvěma hlavním kapitolám k Hydrogeologii a k Metodám pro vícekritériální rozhodování. V první kapitole je popisován pojem hydrogeologie, k jakým účelům se hydrogeologický průzkum provádí, jsou zde popsány metody hlubinného vrtání a jaké prvky by měla obsahovat projektová dokumentace. V druhé kapitole jsou popsány metody pro stanovení vah kritérií. V této kapitole jsou také obsaženy metody pro vícekritériální rozhodování.

Na začátku praktické části práce je popisována společnost, ve které se rozhodovací metody aplikují. Jedná se o společnost GeoTec-GS, a. s. Jsou zde také popsány oblasti působnosti této společnosti.

Pro zpracování praktické části bakalářské práce tato data poskytla společnost GeoTec, a. s. Data obsahují šest kritérií k šesti různým variantám vrtných souprav. K těmto údajům byla poskytnuta projektová dokumentace, ve které se tento vybraný typ vrtné soupravy použije. Pro stanovení vah kritérií je použita Saatyho metoda a pro vytvoření tabulek je využíván program MS Excel. Po vytvoření a zpracování vah kritérií Saatyho metodou je pro výběr nejvhodnější varianty použita metoda AHP (analytický hierarchický proces), pomocí které je vybrána jedna z šesti variant typů vrtných souprav. Celý postup je zapsán do aplikace MS Word a jednotlivé úkony jsou průběžně popisovány. Závěrečný přehled výběru variant typů vrtných souprav je popsán a okomentován.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Hydrogeologie

Hydrogeologie využívá různých metod a technik, jako jsou geologické mapování, vrtné práce, geofyzikální a geochronologické metody, k sledování hladiny podzemní vody a další vodních zdrojů. Díky těmto technikám a poznatkům z hydrogeologie je možné například plánovat a navrhovat účinné způsoby využití podzemních vod pro lidskou potřebu, minimalizovat rizika znečištění vodních zdrojů a navrhovat opatření pro jejich ochranu. Hydrogeologie tak představuje klíčový nástroj pro udržitelné hospodaření s vodními zdroji a ochranu životního prostředí (MŽP, 2010).

#### 3.1.1 Vrtná souprava

*„Vrtné soupravy se používají při geologických průzkumech k zjišťování složení půdy, ale také k vrtání studní, otvorů pro piloty hlubinného zakládání, otvory pro injektáže, vrty pro trhací práce aj. Vrtná souprava je komplex strojů a zařízení umožňujících rozpojovat horninu, získávat vzorek horniny, vykonávat manipulaci s vrtným nářadím, a vynášet rozrušenou horninu na povrch (při jádrovém vrtání), zabezpečovat stěny vrtu a některé další operace, které jsou dány účelem využití vrtů. (Kučerová, Turek, 2005, str. 41).“*

#### 3.1.2 Hydrogeologické účely a měření

Jímání podzemní vody je hlavním záměrem hydrogeologického vrtu a pro tento účel se využívají efektivní metody, jako jsou vertikální, horizontální a kombinovaná jímátka. Mezi nejčastěji používaná vodní díla pro jímání podzemních vod patří hydrogeologické vrty, které se řadí mezi vertikální jímadla. (Jedlička, Kožíšek, 1981).

U všech hydrologických vrtů je důležité dosáhnout provrtání vodonosné vrstvy. Dále je nutné vystrojit stěny vrtu tak, aby byl umožněn přítok vody do vrtu, aniž by došlo k migraci jemnozrné frakce hornin z okolí výstroje (Jedlička, Kožíšek, 1981).

Výsledky jsou prováděny na základě dlouhodobých měření ze sítě vrtů a pozorovacích objektů, hodnoty z těchto měření jsou následně poskytovány odborným laboratorům, které tyto výsledky zpracují. Výsledky jsou zapsány do geologické dokumentace, grafů nebo map. Dále se také zjišťuje zdroj napájení, vydatnost zdroje, těsnost tektonických poruch jednotlivé složení okolní horniny a její propustnost.

Výsledky plošných hydrogeologických průzkumů a výzkumů jsou zapsány a znázorněny v mapách (mapy izohyps) a grafech, ve kterých jsou znázorněny změny jednotlivých veličin.

Sondážní či vrtné práce v rámci hydrogeologického průzkumu slouží k upřesnění znalostí o geologii zájmového území, k odběrům vzorků zemin a podzemní vody na příslušné analýzy, k terénním měřením fyzikálně-chemických parametrů, k záměrům hladiny podzemní vody, k provádění hydrodynamických zkoušek, ke stopovacím zkouškám a ke dlouhodobému monitoringu. Po ukončení průzkumných prací mohou být tyto práce využity pro sanační čerpání nebo zasakování vyčištěné vody a remediačních činidel (MŽP, 2010).

Získané výsledky jsou zohledněny a slouží k projektování dalšího výzkumu, dalšímu strategickému rozmístování výzkumných objektů nebo výstavbě hydrogeologických zařízení. Podmínkou pro zajištění věrohodnosti výsledků je kvalitní provedení hydrogeologických prací.

### **3.1.3 Hydrogeologické průzkumy**

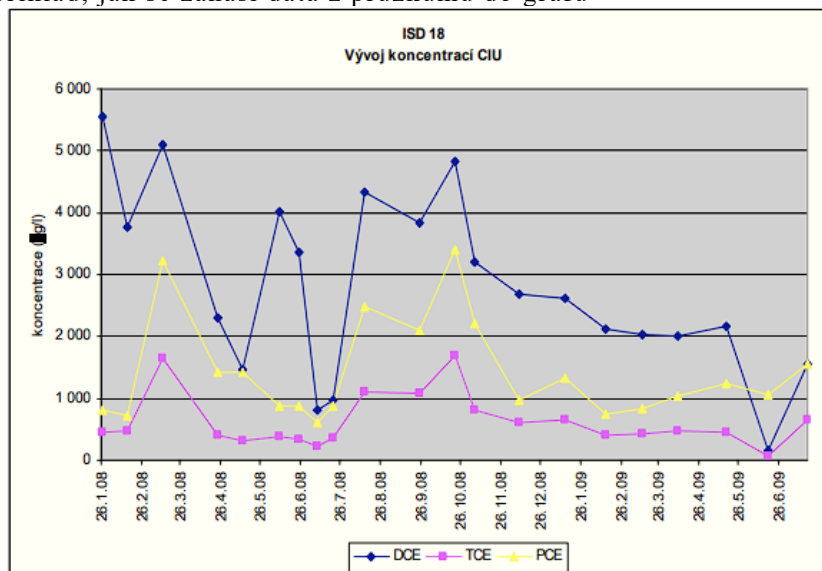
Účelně prováděnou činností je hydrogeologický průzkum, jehož cílem je získání potřebných poznatků o poměrech výskytu podzemních vod v horninovém prostředí, zejména pro jejich využívání a ochranu. K tomuto účelu se používají pracovní metody hydrogeologie, hydrologie, hydrauliky podzemních vod a hydrogeochemie. Průzkum lze rozlišovat na základní, regionální a účelový. Základní průzkum se zaměřuje na stanovení základních hydrogeologických charakteristik zkoumané struktury. Regionální průzkum slouží k ocenění využitelných zásob podzemní vody v nižších kategoriích. Účelový průzkum pak slouží k podrobnějšímu ověření využitelnosti zdrojů podzemní vody, ale i k průzkumu pro potřeby kontaminační hydrogeologie (MŽP, 2010).

Hydrogeologický průzkum má za úkol dosáhnout hodnověrných poznatků o podmínkách výskytu a oběhu prostých podzemních, minerálních a termálních vod v horninovém prostředí. Tyto poznatky jsou důležité pro využívání a doplňování zdrojů podzemní vody, objasnění a řešení hydrogeologických otázek při výstavbě inženýrských, báňských a jiných staveb a k ochraně zdrojů vod. Průzkum obvykle zahrnuje vrtání průzkumných vrtů a sond, využívání geofyzikálních metod, mapování a analýzu horninového prostředí a tvorbu hydrogeologických map (Sarga, Letko, 1983).

Zásadní pro hydrogeologický průzkum je fyzikálně-chemický rozbor vody. V hydrogeologické praxi se odebírají vzorky podzemních vod a v případě potřeby i vzorky povrchových a srážkových vod. Správné odebrání vzorku vody na chemickou analýzu je základním předpokladem pro získání spolehlivých údajů o chemickém složení vody. Vedle laboratorních prací je třeba zmínit i terénní měření teploty, pH, oxidačně-redukčního potenciálu, rozpuštěného kyslíku a dalších parametrů, jejichž vypovídací hodnoty se znehodnotí odběrem vzorku vody a jeho přepravou do laboratoře. Výsledky chemických analýz se interpretují mnoha způsoby, nejpoužívanější jsou různá

grafická znázornění (sloupcové, kruhové, liniové a další speciální grafy – např. Piperův) (MŽP, 2010). Dlouhé časové řady sledování některých chemických ukazatelů z jímacích územních vodních zdrojů, získané v rámci odběru vody, lze úspěšně využít i při řešení vzniklé kontaminační situace (MŽP, 2010).

Obrázek 1 - příklad, jak se zanáší data z průzkumu do grafu



Zdroj: MŽP, 2010, str. 20

### 3.1.4 Hydrogeologické mapování

Hydrogeologické průzkumy jsou nezbytné pro získání přesných informací o podzemní vodě. Jednou z důležitých metod je geofyzikální průzkum, který umožňuje neinvazivní zjišťování geologických a hydrogeologických vlastností hornin. Mezi nejčastěji používané geofyzikální metody patří seismické, gravimetrické, magnetické a elektromagnetické metody. Tyto metody umožňují získat informace o hloubce a rozsahu vrstev, vodivosti hornin, přítomnosti trhlin a porézních zón a dalších faktorech ovlivňujících proudění podzemní vody. Výsledky geofyzikálního průzkumu jsou pak využity při plánování jímacích a odvodňovacích objektů, navrhování vrtů a řešení dalších hydrogeologických otázek (MŽP, 2010).

### 3.1.5 Rozdělení hydrogeologický vrtů

Rozdělení hydrogeologický vrtů podle účelu, podle etapovosti průzkumu a podle hloubky dosahu.

#### a) Podle účelu

- Pozorovací vrtý – slouží k pozorování podzemních vod
- Výzkumné vrtý – slouží ke zjištění hydrogeologického a geologického charakteru, počtu zvodnění a hydrogeologických poměrů daného území
- Průzkumné vrtý – se provádějí při inženýrskogeologickém průzkumu, při průzkumu ložisek nebo při průzkumu vodních zdrojů
- Provozní vrtý – které mohou sloužit jako jímací vrtý nebo odvodňovací vrtý

Jímání podzemní vody je účelem jímacích vrtů, které zásobují vodou obyvatelstvo, průmysl a zemědělství. Oproti ostatním metodám má jímání podzemních vod několik výhod. Vodu můžeme získat z téměř jakékoliv hloubky, je chráněná před povrchovými a podložními vlivy a má stálou teplotu (Jedlička, Kožíšek, 1981).

Nevyskytují se tak často jako jímací, avšak odvodňovací vrtý mají za úkol odvodňovat stavební jámy, stavby, podzemní a hornická díla. Maximální snížení hladiny, při co nejmenším čerpání, je u těchto vrtů důležité. V některých případech se nečerpá, ale využívá se gravitace a úhlu spádu potrubí (Jedlička, Kožíšek, 1981).

#### b) Podle etapovosti průzkumu

- Orientační vrtý slouží k poskytnutí několika důležitých informací. K litologickému profilu vrtu, místo přítoku podzemních vod, které se zjišťuje karotážními metodami, a orientační hydrogeologické kvalitativní a kvantitativní informace, které jsou limitovány kapacitou instalovaného vrtu a vrtného průměru. Pro vyvrtání se používá technologie ložiskových jádrových vrtů, které jsou hloubeny jádrovým vrtáním
- Ověřovací vrtý slouží k poskytnutí podrobných hydrogeologických informací horninového prostředí zvodněném vodou. Umístění těchto vrtů je založeno na předběžných výsledcích průzkumu nebo orientačních vrtech, které umožňují zjistit charakter propustnosti horninové vrstvy a napájení horniny. Pro vývrt se používá technologie bezjádrového vrtání



### c) Podle hloubkového dosahu

- Hydrogeologické vrty do 500 metrů – tyto vrty zahrnují celou škálu průzkumu a využívání podzemních vod. Hloubka 500 metrů je uznávána jako hranice sféry ložiskové hydrogeologie. Tato skupina vrtů se dá také rozdělit do kategorie orientačních a ověřovacích vrtů
- Hydrogeologické vrty do 1200 metrů – se využívají při průzkumu minerálních a termálních vod a je částečně sférou ložiskové hydrogeologie. Technologie vrtu by měla zajistit hydrogeologické a geologické informace až do konečné hloubky a je zde možnost snížení dynamické hladiny až do 150 metrů
- Hydrogeologické vrty nad 1200 metrů – konstrukce tohoto vrtu vychází ze stejných kritérií jako předchozí skupina. Technologie vrtů by měla umožňovat snížení dynamické hladiny až do 200 metrů. Může být uplatněno kozlíkové čerpání nebo svabování

U těchto základních druhů a kategorií hydrogeologických vrtů se vychází z technických možností jejich realizace. U provádění těchto vrtů se používá běžná technika a běžný technologický postup, nejrozšířenějším způsobem hloubení vrtů je jádrové a bezjádrové rotační vrtání.

### 3.1.6 Způsob vrtání hydrologických vrtů

Kromě pramene je vrt či sonda vedlejším způsobem, jak přímo studovat podzemní vodu, která není z povrchu terénu volně přístupná a je nezbytná pro hydrogeologický průzkum saturované zóny. Pro vrtání se využívají různé technologie, jako jsou vrtání úderem, jádrové, rotačně příklepové, nárazovotočivé, náběrové, šnekové, vibrační a drapákové. Je důležité poznamenat, že každá z těchto technologií je optimální pro jiné horninové prostředí a pro jiný účel průzkumného vrtu (MŽP, 2010).

#### S přímým proplachem

- Jádrové vrtání
- Rotarové vrtání (bezjádrové)

#### S nepřímým proplachem

- Airliftové vrtání
- Protiproudové vrtání
- Sací vrtání

## **Bez proplachu**

- Vibrační vrtání
- Drapákové vrtání
- Šnekové vrtání
- Náběrné vrtání

## **Rotarové vrtání**

Tento způsob vrtání se využívá už od roku 1900. Využívá se při něm rotačních stolů s unášeczkou, které slouží jako vrtné zařízení a na něž se nasadí vrtný nástroj, např. šnekový vrták nebo plnoprofilová dláta. Vrtání se provádí svisle a vrtný nástroj se do vrtu podává pomocí vrátku a kladkostrojového systému. Tento způsob vrtání je technologicky vyspělý a univerzální a používá se především při hlubokých a velmi hlubokých vrtech, např. při vrtání na ropu a plyn. K vrtání se používá vrtný výplach (Moss, Moss, 1990; Pštross, Pštross, 1971; Sarga, Letko, 1983).

## **Jádrové vrtání**

Rotační vrtání, stejně jako rotarové, se jedná o vrtání korunkou. Největším rozdílem je však používaný vrtný nástroj, který představují korunky. Při vrtání korunkou se vrtný nástroj postupně odvrťává jádro do tzv. jádrováku, čímž se získává kontinuální horninový vzorek i z velmi hlubokých míst pro výzkumné účely. Vrtání je velmi účinné a energeticky málo náročné díky malé ploše vrtné korunky. Díky systému hydraulického ovládání, které nese vrtný nástroj, je vrtání možné v libovolném směru. Tento způsob vrtání se využívá především v důlním a průzkumném vrtání, nejen v inženýrské geologii. Je technicky velmi vyspělý, a to především díky vývoji diamantových korunek a různých typů jádrováků (Jedlička, Kožíšek, 1981).

## **Protiproudové vrtání**

Při něm se využívá rotačního vrtání a nepřímého proplachu vrtu, a zároveň umožňuje průběžné jádrování a minimalizuje zanesení zájmových horizontů. Využívá se především v jílech a slínech, či v měkkých horninách. Vrtným nástrojem jsou tři až čtyřčelistové nebo excentrické nebozezy, také známé jako JUMBO, které během vrtání rotují a zároveň nasávají rozrušenou horninu. Větší valouny z vrtu jsou vyzdvihnuty pomocí speciálních drapáků (Moss, Moss, 1990).

### **Sací vrtání**

Je to velmi moderní způsob vrtání, který se využívá především v hydrogeologii při vrtání v nezpevněných materiálech. Vrtná kolona slouží zároveň jako pažnice a rozrušený materiál se odčerpává z vrtu pomocí výplachu. (Pšross, Pšross, 1971).

Pro vrty v nesoudržném nebo málo soudržném materiálu se používají vrtné technologie jako náběrové vrtání, šnekové, vibrační či drapákové. Vibrační metody jsou vhodné pro prostředí bez větších valounů a obvykle se používají pro vrty s průměrem 50-150 mm. Šnekové, a zvláště drapákové vrtání slouží pro výstavbu širokoprofilových vrtů a studní, přičemž drapákové vrtání umožňuje vrtat i přes průměr 1000 mm (MŽP, 2010).

### **Vibrační vrtání**

Způsob vrtání, který nachází využití hlavně v nesoudržných zeminách, využívá principu vysokého kmitočtu. Při tomto způsobu vrtání se sypké zeminy chovají jako tekutina, a tak se vrtný nástroj snáze zaboří. Tento způsob vrtání má výhodu v tom, že vrtná kolona slouží zároveň jako pažení vrtu, a tak se odvrtná zemina může odstraňovat drapáky (Pšross, Pšross, 1971).

### **Drapákové vrtání**

Drapákové vrtání je hlavně využíváno při velkopřůměrovém vrtání v soudržných, nesoudržných nebo šterkovitých zeminách. Často se při drapákovém vrtání využívá pažení vrtu, aby se zabránilo jeho zborcení, což je obzvláště důležité při vrtání v nesoudržných zeminách. Drapáky se využívají především při speciálních vrtných pracích ve stavebnictví a také například při hloubení studní, šachet a záchytných objektů v oblasti vodárenství (Pšross, Pšross, 1971).

### **Šnekové vrtání**

Způsob vrtání, který se využívá zejména při vrtání do hloubek menších než 50 metrů, je vrtání rypadlem. V tomto případě se do zeminy pomocí rypadla vytvoří jáma, která se následně vyplní vrtanou kašnou a vrtným nástrojem, např. šnekovým vrtákem, se zemina vyvrhne ven. Tento způsob vrtání se využívá při zakládání staveb, např. pro základové desky, sloupy nebo základové piloty (Pinká, 2014).

### **Náběrné vrtání**

Velmi jednoduchý způsob vrtání, který jde provádět i ručně. Používá se do hloubek 30 m, avšak s pomocnou technikou se lze dovrtnat až do hloubek 200 m (Pinká, 2014).

Nejčastějším způsobem vrtání hydrogeologických vrtů je rotační vrtání s přímým proplachem. Jedním z nejvýznamnějších hloubení je rotační vrtání s nepřímým proplachem, a to buď vrtání airliftové nebo vrtání sací. Máme mnoho různých způsobů vrtání, a to bohužel způsobuje i to, že máme rozsáhlý počet různých typů vrtných souprav, což pro některé účely nemusí být výhodou.

Pro vrtání hydrogeologických vrtů jsou tedy výhodné vrtné soupravy, které umožňují použít více než jeden způsob vrtání, nejrozšířenější variantou je způsob s přímým nebo nepřímým proplachem. Víceúčelové vrtné soupravy jsou v tomto směru velmi rozšířené a žádané, tato možnost vrtání více způsoby je například u vrtných souprav typu WIRTH.

Obrázek 2 - hydrogeologických vrt – jádrového vrtání s proplachem



Zdroj: obrázek pořízený společností GeoTec, a. s.

Standardní vrtání v pevných skalních horninách za přijatelné ceny je rotačně-příklepové vrtání; toto vrtání ale neumožňuje získání vrtného jádra pro podrobný popis zastiženého horninového prostředí, ale jen pro jeho orientační popis. Nejčastěji se používá pro budování vrtných studní jako vodních děl a méně jako průzkumných vrtů (vrtné průměry dle výkonu vrtné soupravy 200-400 mm). Pro většinu geologických prostředí a pro budování mělkých průzkumných vrtů (do 20 m) užšího průměru (100-200 mm) se používá nárazovotočivé vrtání, např. soupravy řady UGB (MŽP, 2010).

### **Rotačně-příklepového vrtání**

Při vrtání se využívá nejen rotace, ale také dynamické rázy, které jsou vyvolány vrtacími kladivy. Existují povrchová a ponorná kladiva, přičemž povrchová se častěji používají na krátké vrty. Pro hlubinné vrtání jsou vhodnější ponorná kladiva, která mají velkou údernou sílu a rozdělují se na hydraulická a vzduchová. V současné době jsou nejrozšířenější vzduchová kladiva, zejména při vrtání křehkých, pevných a velmi pevných hornin při plnoprofilovém vrtání. Vrtným nástrojem je dláto, které

rozrušuje horninu působením tlaku vzduchu na píst. Zároveň vzduch vynáší odvratanou horninu z počvy vrtu a vrtný nástroj se musí průběžně pootáčet, aby se zajistilo, že nebude působit jen na jednom místě. Tyto kladiva se využívají především ve stavebnictví, hydrogeologii a lomovém dobývání (Mazáč, Koníček, 2004).

### 3.1.7 Projektování a konstrukce hydrogeologických vrtů

K vytvoření a projektování konstrukce vrtu jsou potřeba následující informace a údaje jako jsou hydrogeologické podmínky, předpoklad těžby z vrtu, typ a velikost těžebního zařízení a jakým způsobem bude vrt vyztužen.

Hlavním prvkem při provádění vrtných prací je vrtná souprava, která zahrnuje komplex zařízení umožňující samotné vrtání, nesoucí vrtnou kolonu a nástroj a umožňující odběr horninových vzorků, například pomocí jádrového vrtání. Kromě toho má vrtná souprava také za úkol zajistit a zabezpečit vrt, jako je například vystrojení, těsnění a izolaci vrstev (Blažek, 1978).

Hydrogeolog řídí vrtné práce a na základě známých geologických a hydrogeologických poměrů pro dané území vyhotoví projekt vrtu s ohledem na účel využití vrtu (Pražský, Jedlička, 1969). Geolog poté na základě těchto údajů stanoví průměr, hloubku vrtu, statickou (ustálenou) hladinu, možný odběr vody, technologii vrtání, pažení vrtu, druh filtru, těsnění vrtu a izolaci vrstev (Zeman, Vojtěch, 1985).

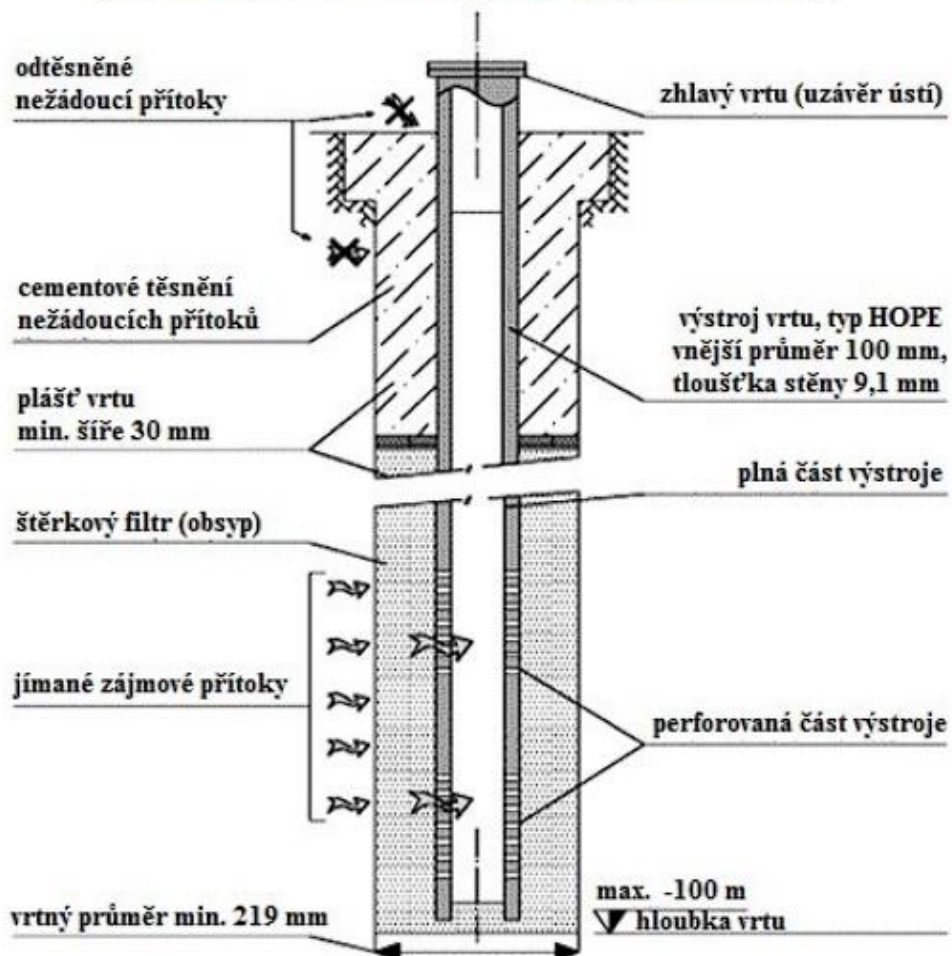
Jestli-že tyto údaje známe dále se k projektu vrtu zjišťují, počáteční a konečný průměr vrtu, návrh těžby, předpoklad hladiny vody (dynamické), technologie, typ a rozměr filtru u vrtu, způsob a metoda zpracování těžené vrstvy a způsobu cementace pažnicových kolon.

Od charakteru geologického prostředí se odvíjejí parametry vrtu (tzn. hloubka, vrtný průměr, použitá vrtná technologie, způsob vystrojení vrtu, interval perforace výstroje, obsyp a těsnění výstroje), v závislosti na určení průzkumného díla (např. zjištění litologického profilu a tektonického postizení hornin, jednorázový odběr vzorků, dlouhodobější monitoring, potenciální využití jako sanační objekt atd.) (MŽP, 2010).

Pro uvedené údaje je nutné znát také cíl, pro který mám být hydrogeologický vrt proveden. Například jestli se jedná o pozorovací, těžební, vyhledávací nebo průzkumný. Rozhodnutí o počtu pažnicových kolon pro kvalitní a bezpečné hydrogeologické vrtání se bude řídit několika faktory, kterými jsou bobtnavost a hloubka vrtu, přítomnost zavalených nebo porušených vrstev, velikosti tlaku, chemického složení vody nebo průměru vrtu.

Obrázek 3 - Konstrukce hydrogeologického vrtu

**Standardní provedení vrtu pro jímání podzemní vody**



Zdroj: Technika a technologie hlubinného vrtání, Univerzita Masaryková, 2011, <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtyHydrogeologicke.html>

### 3.2 Metody vícekriteriálního rozhodování

*„Jak název vypovídá, multikriteriální analýza (MCA, multicriteria analysis, nebo také vícekriteriální analýza) je používána pro případy, kdy projekt dosahuje více pozitivních, případně také negativních efektů a nechceme se pouštět do peněžního oceňování, které je nedílnou součástí CBA. Každý druh efektu tvoří v MCA konkrétní kritérium. Veřejná autorita vybírá na základě MCA jeden projekt z většího počtu variant, případně větší počet vhodných projektů. Předpokladem je, že lze dopady variant na základě jednotlivých kritérií kvantifikovat, a to v jakýchkoli jednotkách. V oblasti dopravy lze uvažovat o multikriteriální analýze např. při volbě varianty řešení hromadné dopravy v rámci města. Může tím být kupř. výběr druhu autobusů k využití ve veřejné dopravě. Se všemi dostupnými technologickými možnostmi – elektrobusey, vodíkovými pohony, hybridními motory a dalšími alternativami – jsou spojené výhody i nevýhody (Brůhová-Foltýnová, 2022, str. 115).“*

*„Využívá se při řešení problémů, které mají zásadní vliv na činnost organizace, a také v situaci, kdy se účastníci rozhodování nejsou schopni dohodnout na jednom kritériu, respektive je-li více důležitých faktorů, a nelze tedy využít jednokriteriální hodnocení.“*

#### **Výhody využití:**

- *Jasný přehled (většinou tabulka) jednotlivých kritérií předložených variant řešení*
- *Přehlednost předpokladů, ze kterých se vycházelo při rozhodování*
- *Větší věrohodnost rozhodnutí*

#### **Nevýhody:**

- *Časová náročnost roste s počtem kritérií hodnocení a s počtem variant*
- *Kritéria mohou být vyjádřena v různých měrných jednotkách (například v procentech, v korunách...), proto je nutný převod všech kritérií na stejnou měrnou jednotku, abychom mohli body a jednotlivá kritéria sčítat a stanovit jejich pořadí*
- *Větší je nutno použít pro konečné stanovení výsledků počítač, tj. je zde důležitá předchozí příprava a výbava příslušnou technikou (Kolajová, 2006, str. 73)“*

### 3.2.1 Stanovení vah kritérií

Nejprve je většinou potřeba stanovit váhy jednotlivých kritérií hodnocení, které vyjadřují číselně význam těchto kritérií (resp. důležitost kritérií z hlediska hodnotitele). Váha kritéria je větší, čím je kritérium významnější (resp. čím významnější hodnotitel určité kritérium považuje). Tyto váhy se zpravidla normují tak, aby jejich součet byl roven jedné, aby bylo možné dosáhnout srovnatelnosti vah souboru kritérií stanovených různými metodami (Olivková, 2011).

Existuje větší počet metod stanovení vah kritérií, které se liší především svou složitostí vyplývající z odlišného algoritmického základu jednotlivých metod a srozumitelností pro hodnotitele. Dále se liší náročností na typ informací, které je třeba pro stanovení vah získat od hodnotitele (Olivková, 2011).

Většinou v modelech vícekritériálního rozhodování (MCDM) je přidělování vah kritériím důležitým krokem, který je třeba opakovaně přezkoumat. Určování vah kritérií je však jedním z klíčových problémů, které se vyskytují při vícekritériálním rozhodování (Dragan., 2018). V literatuře bylo navrženo a použito různých metod vážení pro řešení různých MCDM problémů, jako jsou například programování cílů, analytický hierarchický proces (AHP), metoda váženého součtu, VIKOR, TOPSIS atd. Tyto metody vážení jsou klasifikovány různými způsoby: Přímé metody vážení kritérií (škálování, řazení vah, postup přidělování bodů) a nepřímý přístup (váha odvozená z teorií a matematických modelů). V praxi je dokonce pro jednoho rozhodujícího obtížné dodat číselné relativní váhy různých kritérií rozhodnutí. Samozřejmě, získání vah kritérií od několika rozhodujících je ještě obtížnější. Často jsou rozhodující mnohem pohodlnější při jednoduchém přiřazení běžných pořadí různým zvažovaným kritériím. V takových případech lze relativní váhy kritérií odvozovat z kritérií pořadí dodávaných rozhodujícími. Rozhodnutí o volbě vhodné metody vážení je obtížný úkol při řešení problému rozhodování s více kritérii. Několik výzkumníků však odmítá obtížnost měření vah kritérií a předpokládá, že důležitost vah kritérií je známá všem rozhodujícím (Zardari, 2015).

### 3.2.2 Metoda párového porovnání

Metodou párového porovnání se zjišťují preferenční vztahy dvojic kritérií. Pro každé kritérium se zjišťuje počet jeho preferencí vzhledem ke všem ostatním kritériím souboru. Toto určování preferencí probíhá podle schématu zobrazeného v tabulce, kde hodnotitel u každé dvojice kritérií zjišťuje, zda preferuje kritérium uvedené v řádku před kritériem uvedeným ve sloupci. Pokud ano, zapíše do příslušného políčka číslo kritéria uvedeného v řádku, v opačném případě číslo kritéria uvedeného ve sloupci. Pro každé kritérium se stanoví počet jeho preferencí  $f_i$ , který je roven součtu jeho preferencí v řádku a sloupci tohoto kritéria. V případě stejného počtu preferencí u dvou (nebo více) kritérií se bere



v úvahu směr preference těchto dvojic kritérií. Na základě počtu preferencí se určí pořadí kritérií v souboru kritérií (Olivková, 2011).

Obrázek 4 - příklad metody párového porovnání

Kriterium	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	Počet preferencí	Pořadí kritéria
k <sub>1</sub>		1	1	1	5	3	1
k <sub>2</sub>			3	2	2	2	3
k <sub>3</sub>				3	3	3	2
k <sub>4</sub>					5	0	5
k <sub>5</sub>						2	4

Zdroj: Olivková, 2011, str. 294

### 3.2.3 Metoda alokace 100 bodů

U metody 100 bodů má hodnotitel k dispozici 100 bodů, které musí rozdělit mezi jednotlivá kritéria v podle jejich významnosti. Hodnotitel přidělí každému kritériu počet bodů, které odpovídají váze kritéria. Součet bodů, které hodnotitel rozdává mezi kritéria musí být roven 100 bodů. Následně se provede normalizace vah kritérií, aby součet vah opět byl roven jedné (Olivková, 2011).

### 3.2.4 Metoda stanovení preferenčního pořadí

V metodě stanovení preferenčního pořadí se nejprve stanoví pořadí preference kritérií, začínaje nejpreferovanějším a konče nejméně preferovaným kritériem. Po stanovení pořadí kritérií se provede normalizace hodnot, aby všechna kritéria byla ve stejném rozsahu. Poté se pro každou alternativu spočítá vážený součet hodnot, kde váhy jsou určeny podle pořadí preferovanosti kritérií. Alternativy se pak seřadí podle velikosti váženého součtu, přičemž největší hodnota odpovídá nejlepší alternativě z hlediska hodnocených kritérií (Olivková, 2011).

### 3.2.5 Saatyho metoda

*„Saatyho metoda patří mezi propracované a nepoužívanější způsoby odhadu váhy pro kritéria. Provádí se porovnávání všech dvojic kritérií. Stupeň důležitosti jednoho kritéria před druhým vyjadřuje řešitel úlohy v celočíselné stupnici od 1 do 9. Hodnota 1 znamená, že dvojice kritérií má stejnou důležitost a hodnotou 9 označujeme kritérium, které absolutně převyšuje druhé. Pokud je v porovnání kritérií jedno méně důležité, použije se převrácená hodnota. Informace z párových porovnání lze sestavit do matice  $S = (s_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, k)$ , která se nazývá Saatyho matice. Prvky matice  $s_{ij}$  lze interpretovat jako odhady podílu vah  $i$ -tého a  $j$ -tého kritéria (Němeček, Janata, 2010, str. 56).“*

Obrázek 5 - příklad Saatyho škály preferencí

Počet bodů	Deskriptor
1	Kriteria jsou stejně významná
3	První kritérium je slabě významnější než druhé
5	První kritérium je dosti významnější než druhé
7	První kritérium je prokazatelně významnější než druhé
9	První kritérium je absolutně významnější než druhé

Zdroj: Olivková, 2011, str. 295

Proces stanovení vah Saatyho metodou je popsán na příkladu v tabulce. Hodnotitel srovnává kritéria, která jsou uspořádána v tabulce, následně přiřazuje jednotlivé preference mezi kritérii počty bodů z bodové stupnice v předešlé tabulce. Kritéria musí být zapsána ve stejném pořadí jak v řádcích, tak ve sloupcích (Olivková, 2011).

Obrázek 6 - příklad preferencí v Saatyho metodě

Kritérium	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	Geometrický průměr
k <sub>1</sub>		2	3	6	1/3	1.64
k <sub>2</sub>			1/4	7	4	1.28
k <sub>3</sub>				3	2	1.52
k <sub>4</sub>					1/2	0.33
k <sub>5</sub>						0.94

Zdroj: Olivková, 2011, str. 296

„Pokud je kritérium uvedené v řádce významnější než kritérium uvedené ve sloupci, zapíše se do příslušného políčka počet bodů, kterým hodnotitel vyjadřuje velikost preference kritéria v řádce vzhledem ke kritériu ve sloupci. Pokud je naopak kritérium ve sloupci významnější než kritérium v řádce, zapíše se do příslušného políčka převrácená hodnota zvoleného počtu bodů (Olivková, 2011, str. 296).“

Neznormované váhy kritérií určíme pomocí geometrického průměru řádků v Saatyho matici. Po vytvoření geometrických průměrů, znormalizujeme tyto geometrické průměry a dostaneme znormalizované váhy kritérií.

### 3.2.6 Konzistence matice

Indexem konzistence se nazývá číslo CI, které se získá pomocí vzorce.

$$CI = \frac{\lambda_m - 4}{n - 1} \quad (3.1)$$

Konzistentní poměr (CR) pro každou velikost matice měří stupeň odchylky od čisté nekonzistence. Saaty ji definuje jako poměr konzistentního indexu k průměrnému konzistentnímu indexu ze vzorku velkého množství náhodně generovaných matic (Wedley, 1993).

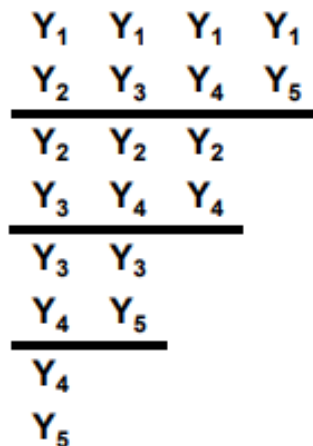
$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.2)$$

Samozřejmě, pokud je osoba konzistentní, měla by mít mnohem nižší konzistentní index než ten, který by byl produkován náhodnými položkami. Saaty výpočtem určil náhodný index RI (n) na základě 50 000 náhodně generovaných matic. Saaty tvrdí, že přijatelný konzistentní poměr by měl být nižší než 0,10, ačkoli poměr nižší než 0,20 je považován za tolerovatelný (Wedley, 1993; Saaty, 1994).

### 3.2.7 Fulleruv trojúhelník

Při použití metody Fullerova trojúhelníku se porovnávají páry kritérií. Rozhodovatel z každé dvojice kritérií vybere to, které je pro něj důležitější a označí ho, případně označí obě, jsou-li pro něj stejně důležité. Poté se spočítá počet označení u každého kritéria a váha kritéria se odhadne pomocí vztahu. Tuto metodu se často používá při hodnocení většího počtu kritérií (Žižka, 2013).

Obrázek 7 - příklad Fullerova trojúhelníku



Zdroj: Sixta, Žižka, Logistika: použité metody, 2013, str. 210

### 3.2.8 Metoda AHP

Abychom se mohli rozhodnout organizovaným způsobem a vytvořit si priority, musíme si jednotlivé rozhodnutí rozložit do následujících kroků.

- Definovat problém a určit druh znalostí, které budeme potřebovat
- Strukturovat hierarchii rozhodování s hlavním cílem rozhodnutí, následují cíle střední úrovně (kritéria, na kterých závisí následující prvky a následují je cíle na nejnižší úrovni (soubor alternativ)
- Sestavte sadu párových matic, pro srovnání každého prvku na dané úrovni s prvky na nižší úrovni
- Použijte priority získané z porovnání ke zvážení priorit pod nimi. Toto udělejte pro každý prvek. Poté pro každý prvek na nižší úrovni sčítejte jeho vážené hodnoty a získáte jeho celkovou nebo globální prioritu. Pokračujte tímto procesem vážení a sčítání, dokud nebudou získány konečné priority alternativ na nejnižší úrovni

Pro srovnávání potřebujeme stupnici čísel, která ukazuje, kolikrát je jeden prvek důležitější nebo dominantní než druhý prvek vzhledem k tomu kritériu nebo vlastnosti, podle které jsou srovnávány. (Saaty, 2008)

Saaty v roce 1977 navrhl analytický hierarchický proces (AHP), který se v poslední době stal jednou z oblíbených metod většiny technik MCDM. V současné době se za převažující, než původní přístup, považuje modifikace AHP, např. metoda fuzzy AHP. Některé problémy však obklopují teoretický základ metody, je snadné ji používat a poskytuje výsledky, které uživatelé očekávají. Navzdory snadnému použití je postup zpracování informací získaných od rozhodovatele obtížně zjištělný. Proto je metoda méně vhodná pro situace s mnoha zúčastněnými stranami. U AHP navíc počet párových porovnání rychle roste s počtem kritérií, což ji činí těžkopádnou. Dalšími běžně používanými metodami jsou metody ELETRE, VIKOR a TOPSIS (Arvind and Janpriy, 2018).

### 3.2.9 Metoda váženého součtu

Metoda váženého součtu kombinuje všechny multiobjektivní funkce do jedné skalární, kompozitní objektivní funkce pomocí váženého součtu  $F(x) = w_1 f_1(x) + w_2 f_2(x) + \dots + w_M f_M(x)$ . Problém vzniká při přiřazování váhových koeficientů  $w = (w_1, w_2, \dots, w_M)$ , protože řešení silně závisí na zvolených váhových koeficientech. Je zřejmé, že tyto váhy musí být kladné a splňovat podmínku (Yang, 2014).

Několik výzkumníků přišlo s různými metodami stanovení vah kritérií vícekritériálního rozhodovacího problému. Mezi nimi je metoda váženého součtu (WSM), která je známá jako nejstarší a pravděpodobně nejpoužívanější metoda. Metoda WSM byla později modifikována na metodu váženého součinu (WPM), aby se odstranily některé nedostatky s ní spojené (Arvind, Janpriy, 2018).

### **3.2.10 Metoda TOPSIS**

TOPSIS je jedním z mnoha metod pro vícekritériální rozhodování, kterou poprvé představili Yoon a Hwang (Yang, Wu, 2016), (Łatuszyńska, 2014). TOPSIS využívá principu, že vybrané alternativy musí mít nejkratší vzdálenost od pozitivní ideální řešení a nejdále od negativní ideální řešení z geometrického hlediska pomocí euklidovské vzdálenosti k určení relativní blízkosti alternativ k optimálnímu řešení (Solomon, Dublish, 1998). Pozitivní ideální řešení je definováno jako součet nejlepších hodnot, které lze dosáhnout pro každý atribut, zatímco negativní ideální řešení se skládá z nejhorsích hodnot dosažených pro každý atribut. TOPSIS bere v úvahu jak vzdálenost od pozitivního ideálního řešení, tak vzdálenost od negativního ideálního řešení tím, že se zaměřuje na relativní blízkost k pozitivnímu ideálnímu řešení. Na základě porovnání (Aisyah, Purba, 2017) relativní vzdálenosti lze dosáhnout prioritního řazení alternativ. Tato metoda je široce používána k rozhodování, protože koncept je jednoduchý, snadno srozumitelný, výpočty jsou efektivní a má schopnost měřit relativní výkon alternativních rozhodnutí (Kabir, Hasin, 2012).

### **3.2.11 Metoda PROMETHEE**

Metoda vícekritériálního rozhodování (MCDM) se používá k ohodnocení a řazení konečného počtu alternativ zohledňujících více kritérií. Cílem MCDM je vyhodnotit a vybrat alternativy, které odpovídají cílům a potřebám. V literatuře existuje mnoho metod MCDM, z nichž PROMETHEE je jedna z těchto metod. PROMETHEE je zkratkou pro metodu řazení Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation. Tuto metodu řazení je považována za jednoduchou v konceptu a výpočtu ve srovnání s mnoha dalšími metodami MCDM. Největší rozdíl mezi PROMETHEE a jinými metodami MCDM spočívá v interním vztahu PROMETHEE během procesu rozhodování (Murat, 2015). PROMETHEE je zvláště vhodný pro rozhodovací problémy, kde je třeba outrankovat konečnou množinu alternativ vzhledem k více kritériím. PROMETHEE má alespoň tři výhody. První výhodou je jeho uživatelsky přívětivá outrankovací metoda. Druhou výhodou je úspěch PROMETHEE v aplikacích na problémy reálného plánování. Další výhodou PROMETHEE spočívá v úplnosti řazení. PROMETHEE I a PROMETHEE II umožňují částečné a úplné řazení alternativ.

PROMETHEE I se používá k získání částečného řazení, zatímco PROMETHEE II se používá k úplnému řazení (Ulegin, 2001).

### **3.2.12 Metoda ELECTRE**

Metoda ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality) byla poprvé představena Bernardem Royem v roce 1968 jako řešení problému uspořádání alternativ od nejlepší po nejhorší pomocí dvojicových srovnání mezi alternativami, přičemž se každé kritérium bere zvlášť v úvahu. I přesto s vztahem k uspořádání se může stále stát, že se rozhodující osoba rozhodne považovat jednu z alternativ za lepší než druhou. To znamená, že rozhodující osoba má slabou nebo silnou preferenci pro jednu z alternativ a někdy není schopna určit nejpříznivější alternativy kvůli obtížnosti rozhodnutí mezi nimi. Nicméně tato metoda má schopnost eliminovat méně příznivé alternativy a je vhodná pro případy rozhodování, které vyžadují méně kritérií s velkým množstvím alternativ. Kromě toho se metoda ELECTRE skládá z dvojicového srovnání alternativ na základě míry, do jaké se hodnocení alternativ a preference vah shodují nebo neshodují s dvojicovým dominantem mezi alternativami. Zkoumá jak míru, do jaké se preference vah shodují s dvojicovým dominantem, tak míru, do jaké se vážená hodnocení liší od sebe. Tyto fáze jsou založeny na "konkordanci a diskordanci"; tato metoda je proto nazývána také konkordanční analýzou (Arvind, Janpriy, 2018).

### **3.2.13 Metoda VIKOR**

Metoda VIKOR je metoda rozhodování s více kritérii (MCDM). Byla původně vyvinuta Serafimem Opricovicem pro řešení rozhodovacích problémů s konfliktními a nesrovnatelnými kritérii, předpokládající, že kompromis je přijatelný pro řešení konfliktů (Arvind, Janpriy, 2018). Tato metoda se zaměřuje na hodnocení a výběr ze sady alternativ a určuje kompromisní řešení nejbližší ideálnímu řešení (Chatterjee, 2012). Navržená metodologie rozhodování pro výběr materiálu využívá kompromisního pořadování známého jako Vlse Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje (VIKOR), což znamená vícekritériální optimalizaci a kompromisní řešení (Xu, 2007).

## **4 Praktická část**

### **4.1 GeoTec-GS, a. s.**

GeoTec-GS, a. s. je společnost, která se zabývá širokým spektrem činností jako jsou dodavatelské služby, expertní poradenství, odborné konzultace a kontrolní činnosti v oboru inženýrské geologie, geotechniky, hydrogeologie, geofyziky, sanační geologie a diagnostiky staveb. Společnost byla založena v roce 1997. Působí na území České a Slovenské republiky s hlavním sídlem v Praze v ulici Chmelová 2920/6, další pobočky jsou v Českých Budějovicích, Teplicích, Olomouci, Pardubicích a Plzni. Ve Slovenské republice je její hlavní pobočka v Bratislavě. Společnost se nejen uchází o státní zakázky a zakázky od velkých investorů, ale i o menší projekty pro soukromníky a menší podnikatele.

Společnost GeoTec-GS, a. s. je společností, spadající do skupiny SUDOP (Státní ústav dopravního projektování) GROUP a. s. Skupina SUDOP GROUP se zaměřuje na stavebnictví a BIM (building information modeling), consulting a IT. Do portfolia skupiny spadá také průzkum a vývoj informačních technologií. Skupině záleží na digitalizaci stavebnictví, proto se zaměřuje na vývoj vlastních aplikací pro podporu projektových nástrojů, pomocí kterých si udržuje vedoucí postavení na trhu. Do skupiny SUDOP GROUP spadá kolem 40 společností, mezi největší společnosti skupiny patří například Metroprojekt, Dopravoprojekt nebo Linksoft. Skupina má hlavní sídlo v ulici Olšanská 2643 v Praze: Skupina působí i mimo hranice České republiky a podílí se na projektech v zemích EU.

### **Oblasti působnosti**

Společnost GeoTec-GS, a. s. je momentálně zapojena do největšího projektu Prahy, výstavby metra trasy D. Na projektu se podílí předběžným geotechnickým průzkumem pro přípravu stavby metra trasy D a stavby odstavných kolejí budoucího Depa Písnice. GeoTec-GS, a. s. má bohaté zkušenosti už z minulosti, kdy se podílela na projektu dostavby a rekonstrukce protipovodňové ochrany stanic metra a stavbě-technickému průzkumu vybraných částí konstrukce stanice Florenc.

Mezi další velké projekty, ve kterých se společnost angažovala v minulosti, patřil železniční uzel v Brně. Zde se prováděl hydrogeologický průzkum, modelové řešení vlivu modernizace nákladního průtahu, IG (inženýrsko-geologický) průzkum protipovodňové ochrany podél Svratky a stanovení míry znečištění zemin a podzemních vod. Dlouhodobý hydrogeologický monitoring byl prováděn na železničním spojení mezi Prahou a Berounem.

## 4.2 Rozhodovací model

### Hydrogeologická měření

Úkolem hydrogeologického monitoringu při ražbě tunelů na jednotlivých stavebních oddílech je indikovat v průběhu razících a stavebních prací případné nepříznivé stavy, které by z hlediska množství a kvality podzemních vod mohly nastat při výstavbě nové trasy metra.

Jedná se hlavně o sledování:

- změn úrovně hladiny podzemních vody a vydatností pramenů v zájmové oblasti,
- chemismu podzemních vod se zaměřením na sledování zvýšené agresivity podzemních vod na betonové a ocelové konstrukce,
- nárůstu hydrostatického tlaku na ostění podzemních děl,
- nárůstu skutečné rychlosti pohybu podzemních vod,
- velikosti celkového i jednotlivých soustředěných přítoků (množství) do tunelů (ražeb),
- kvality vody odtékající z ražených či hloubených podzemních děl.

### Popis a způsob měření

Hydrogeologický monitoring bude prováděn v rámci GTM tak, aby bylo možno s přihlédnutím ke zjištěným skutečnostem z ražeb průzkumných děl stanovit prognózy pro další postup ražeb či hloubení na jednotlivých stavebních oddílech. Hydrogeologický monitoring bude zahájen min 1 měsíc před započítím veškerých zemních prací na stavbě trasy metra, resp. ihned po vybudování nových průzkumných vrtů v oblasti staveb. Do této doby budou vybudována veškerá pozorovací zařízení s výjimkou měřicího zařízení výtoku vody z nově budovaných podzemních děl. Výsledky hydrogeologického monitoringu budou součástí pravidelných zpráv, předkládaných v rámci pořádku stavby.

V následujícím textu jsou uvedeny navržené metody hydrogeologického monitoringu ze zadávací dokumentace s upřesněními, vyplývajícími z poznatků dokončeného doplňkového inženýrskogeologického průzkumu a z nedávno zpracovaného nezávislého HG posudku zpracovatelem DPS. Metody kontrolního sledování hydromonitoringu budou následující:



## **Měření hladiny podzemní vody ve vrtech**

Měření hladin podzemní vody bude prováděno pomocí trvale osazených dataloggerů (DTLG) (automatický záznam 4 měření za den s intervalem stahování 1krát za týden), při stahování dat z DTLG bude hladina podzemní vody pro kontrolu změřena také ručně, elektrokontaktním hladinoměrem. V případě, že vlastník vybrané domovní studny nebude souhlasit s umístěním automatického DTLG pro záznam hladiny, bude měření úrovně hladiny podzemní vody prováděno ručně, elektrokontaktním hladinoměrem. Stažená data budou 1krát týdně (u studní 1krát měsíčně) přenesena do informačního systému.

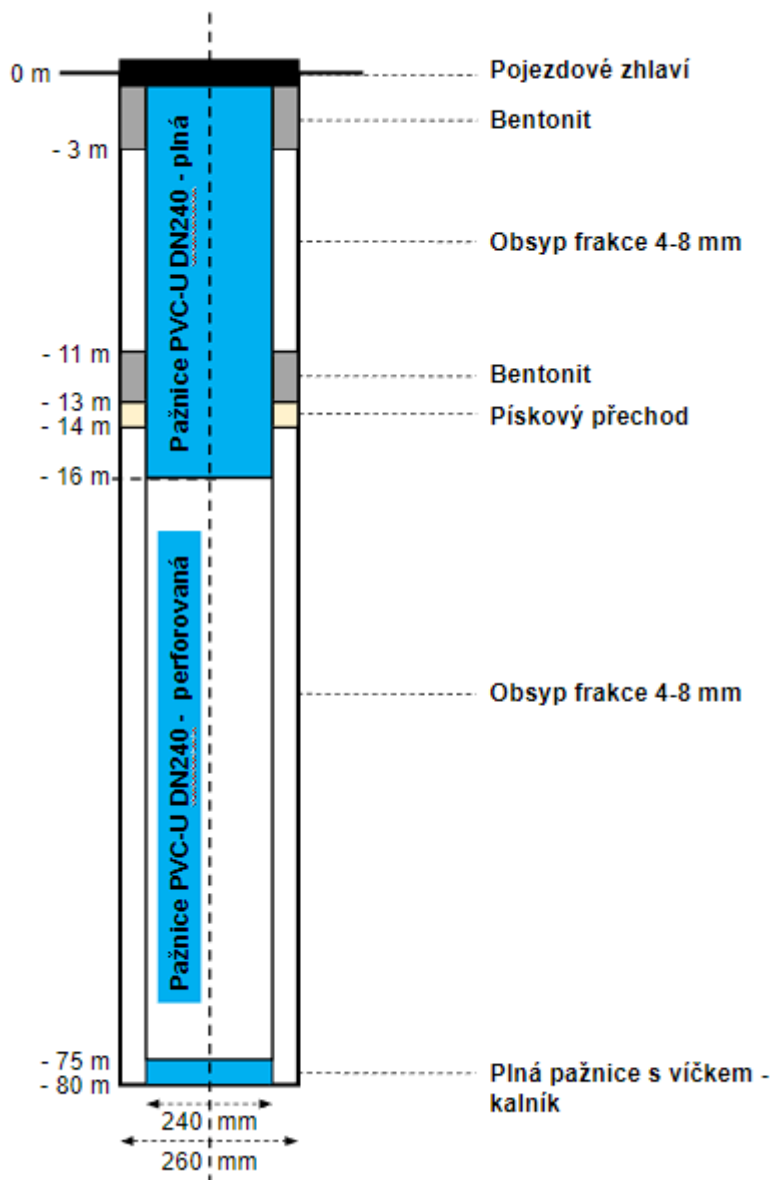
V rámci hydrogeologického monitoringu výstavby bude vybudováno celkem 8 nových HG vrtů s potřebnou hloubkou do 80 m a šířkou vrtné hlavičky 260 mm.

Všechny nově provedené vrty budou osazeny automatickými snímači úrovně hladiny podzemní vody s odečtem 4 x za den. Naměřená data budou snímána min. 1 x týdně.

Všechny vrty budou osazeny automatickými snímači úrovně hladiny podzemní vody s odečtem 4 x za den. Naměřená data budou snímána min. 1 x týdně.

Obrázek 8 - schéma průzkumného vrtu

### Schéma průzkumného HG vrtu



Zdroj: vlastní zpracování

### 4.2.1 Kritéria v rozhodovacím modelu

Pro výběr vrtné soupravy budou potřeba znát kritéria potřebné pro výběrové řízení. Kritéria, která jsou zde použita, se vztahují k dokumentaci na předešlé stránce.

- **Hloubka vrtů (m)**

Hloubka vrtů udává, do jaké maximální hloubky se dokáže vrt provrtat skrz zeminu. Většinou platí, že čím je větší výkon vrtné soupravy tím delší je vrt a tím pádem se i dostane do větší hloubky. Hloubka vrtů se uvádí v metrech.

- **Vrtné průměry (mm)**

Vrtný průměr udává velikost průměru vrtné hlavice u vrtné soupravy. Stejně jako u hloubky vrtů tak i zde platí nepsané pravidlo, že čím větší je výkon vrtné soupravy tím větší je průměr vrtné hlavice. Velikost průměrů vrtné hlavice se udává v milimetrech.

- **Hmotnost (t)**

Hmotnost vyjadřuje, váhu jedné jednotky vrtné soupravy. Hmotnost je vyjádřena v tunách. Hmotnost soupravy může rozhodovat při přepravě na danou pozici pro provádění vrtných prací. Zatížení na terén vyvolané hmotností s hmotností stroje je ovlivněno použitým druhem pojezdu.

- **Průjezdná šířka (m)**

Průjezdná šířka může být jedním z důležitých parametrů při provádění geomonitoringu v intravilánu města. Provádění průzkumných prací uvnitř bloků (vnitrobloku) v mnoha případech je omezeno šířkou průjezdu skrz objekty tvořící uzavřený blok. Pro projekt, který se bude uskutečňovat ve městě, je výhodnější užší průjezdná šířka vrtné soupravy, proto aby se se soupravou dobře mohlo manipulovat v užších prostorech.

- **Druh pojezdu**

Rozlišujeme dva druhy pojezdů – pásový a kolový. Pásové pojezdy se používají na hůře přístupných pozemcích se špatně upraveným povrchem. Nevýhoda u pásových pojezdů je, že v případě přesunu do jiné oblasti, je nutné vrtnou soupravu naložit na jiný přepravní prostředek. Naopak kolové pojezdy se využívají na dobře dostupná místa s lepší povrchovou úpravou, díky kolům se nemusí využívat jiný způsob přepravování a tím pádem mají větší mobilitu oproti pásovým soupravám. U projektu je preferovaný pásový pojezd, kvůli rozložení hmotnosti soupravy a užší průjezdné šířce.

- **Cena (mil)**

Cena vyjadřuje, kolik investor vydá peněžních jednotek za jednu jednotku vrtné soupravy. Cena je vyjádřena v jednotkách milionů.

#### **4.2.2 Varianty v rozhodovacím modelu**

- **Vrtná souprava Wirth B-1**

Druh pojezdu – pásový podvozek

Hmotnost – 8,5 t

Šířka průjezdu – 1,7 m

Hloubka vrtů – 150 m

Vrtný průměr – 330 mm

Cena – 3,1 mil

- **Vrtná souprava Wirth – HVS 485**

Druh pojezdu – kolový podvozek

Hmotnost – 14 t

Šířka průjezdu – 2,5 m

Hloubka vrtů – 200 m

Vrtný průměr – 430 mm

Cena – 6,1 mil

- **Vrtná souprava Wirth ECO-1**

Druh pojezdu – pásový podvozek

Hmotnost – 14 t

Šířka průjezdu – 2,5 m

Hloubka vrtů – 300 m

Vrtný průměr – 800 mm

Cena – 8,2 mil

- **Vrtná souprava Wirth B-3**

Druh pojezdu – pásový podvozek

Hmotnost – 28 t

Šířka průjezdu – 2,55 m

Hloubka vrtů – 450 m

Vrtný průměr – 800 mm

Cena – 11,2 mil

- **Vrtná souprava PVSD-R**

Druh pojezdu – kolový podvozek

Hmotnost – 26 t

Šířka průjezdu – 2,55 m

Hloubka vrtů – 250 m

Vrtný průměr – 800 mm

Cena – 7,8 mil

- **Vrtná souprava HVS 245**

Druh pojezdu – pásový podvozek

Hmotnost – 5 t

Šířka průjezdu – 1,7 m

Hloubka vrtů – 100 m

Vrtný průměr – 273 mm

Cena – 2,6 mil

Tabulka 1 - zapsané varianty v tabulce

Souprava	Cena	Hloubka vrtu	Vrtné průměry	Druh pojezdu	Hmotnost	Šířka průjezdu
L1	3,10	150,00	330,00	Pás	8,50	1,70
L2	6,10	200,00	430,00	Kolo	14,00	2,50
L3	8,20	300,00	800,00	Pás	14,00	2,50
L4	11,20	450,00	800,00	Pás	28,00	2,55
L5	7,80	250,00	800,00	Kolo	26,00	2,55
L6	2,60	100,00	273,00	Pás	5,00	1,70

Zdroj: vlastní zpracování

### 4.3 Výběr varianty

Jednotlivé hodnoty v Saatyho matici byly zkontrolovány s odborníkem ze společnosti GeoTec-GS, a. s., pomocí Saatyho škály preferencí jsou hodnoty zpracované v tabulce na základě osobní konzultace.

Tabulka 2 - preference kritérií

Matice	Cena	Hloubka vrtu	Vrtné průměry	Druh pojezdu	Hmotnost	Šířka průjezdu
Cena	1,00	2,00	2,00	6,00	6,00	6,00
Hloubka vrtu	0,50	1,00	2,00	5,00	5,00	5,00
Vrtné průměry	0,50	0,50	1,00	4,00	4,00	4,00
Druh pojezdu	0,17	0,20	0,25	1,00	2,00	2,00
Hmotnost	0,17	0,20	0,25	0,50	1,00	0,67
Šířka průjezdu	0,17	0,20	0,25	0,50	1,50	1,00

Zdroj: vlastní zpracování

1 = rovnocenné části

3 = slabě preferovaná část

5 = silně preferovaná část

7 = velmi silně preferovaná část

9 = absolutně preferovaná část

Po zpracování údajů do matice byly vytvořeny jednotlivé geometrické průměry k jednotlivým kritériím. Pomocí geometrického průměru byly znormovány jednotlivé váhy kritérií. Nejvyšší váhu z vybraných kritérií má cena, následně hloubka vrtu, vrtný průměr, druh pojezdu, šířka průjezdu a poslední je hmotnost. Následně byl vytvořen index konzistence kvůli kontrole zachování konzistence tabulky.

Tabulka 3 - vypočítaná konzistence matice a váhy kritérií

Matice	Cena	Hloubka vrtu	Vrtné průměry	Druh pojezdu	Hmotnost	Šířka průjezdu	Geometrický průměr	Váhy kritérií	K
Cena	1,00	2,00	2,00	6,00	6,00	6,00	3,086163688	0,372677835	6,144069413
Hloubka vrtu	0,50	1,00	2,00	5,00	5,00	5,00	2,236067977	0,270022285	6,176483546
Vrtné průměry	0,50	0,50	1,00	4,00	4,00	4,00	1,587401052	0,1916908	6,132152293
Druh pojezdu	0,17	0,20	0,25	1,00	2,00	2,00	0,567300445	0,068505861	6,229429428
Hmotnost	0,17	0,20	0,25	0,50	1,00	0,67	0,374929475	0,045275597	6,142832363
Šířka průjezdu	0,17	0,20	0,25	0,50	1,50	1,00	0,429187109	0,051827621	6,136381916
Celkem	CI	0,032044965					8,281049747	1	6,160224826

Zdroj: vlastní zpracování

## Cena

Tabulka 4 - preference u kritéria – cena

		3,10	6,10	8,20	11,20	7,80	2,60	CI	0,053020718	
	Cena	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Geometrický průměr	Váha	K
3,10	L1	1,00	3,00	5,00	7,00	5,00	0,50	2,530394401	0,298369	6,273647291
6,10	L2	0,33	1,00	3,00	5,00	3,00	0,33	1,307660486	0,154192	6,218736941
8,20	L3	0,20	0,33	1,00	3,00	0,50	0,20	0,521000731	0,061433	6,257845674
11,20	L4	0,14	0,20	0,33	1,00	0,33	0,14	0,277182134	0,032684	6,306738023
7,80	L5	0,20	0,33	2,00	3,00	1,00	0,20	0,656419788	0,077401	6,260555929
2,60	L6	2,00	3,00	5,00	7,00	5,00	1,00	3,18809717	0,375921	6,27309768
	celkem							8,480754711	1	6,26510359

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce ceny je pravidlo preferencí minimalizační, je tedy velmi silně preferována L1 před cenou L4 díky tomu, že je rozdíl mezi těmito cenami větší než 8 milionů. Mezi L1 a L5 je preference silná díky rozdílu většímu než jsou 4 miliony a mezi variantami L1 a L2 je slabá preference, protože je zde rozdíl menší než 4 miliony.

## Hloubka vrtu

Tabulka 5 - preference u kritéria – hloubka vrtu

		150,00	200,00	300,00	450,00	250,00	100,00	CI	0,016473849	
	Hloubka vrtu	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Geometrický průměr	Váha	K
150,00	L1	1,00	0,67	0,33	0,17	0,50	1,50	0,550321208	0,068384	6,01457198
200,00	L2	1,50	1,00	0,50	0,20	0,67	2,00	0,764724491	0,095027	6,00482373
300,00	L3	3,00	2,00	1,00	0,33	1,50	4,00	1,513085749	0,18802	6,035552561
450,00	L4	6,00	5,00	3,00	1,00	4,00	7,00	3,688927247	0,458396	6,11875534
250,00	L5	2,00	1,50	0,67	0,25	1,00	5,00	1,164993051	0,144765	6,155208927
100,00	L6	0,67	0,50	0,25	0,14	0,20	1,00	0,365419555	0,045408	6,165302943
	celkem							8,047471302	1	6,082369247

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce hloubky vrtů je pravidlo preferencí maximalizační. Varianta L4 je velmi silně preferovaná před variantou L6, protože rozdíl mezi těmito variantami je o 300 m, varianta L4 je silně preferována před variantou L2, protože rozdíl mezi dvěma variantami je větší než 150 m, ale menší než 300 m, a varianta L2 je slabě preferovaná před variantou L1 díky tomu, že rozdíl je menší než 150 m.

## Vrtný průměr

Tabulka 6 - preference u kritéria – vrtný průměr

		330,00	430,00	800,00	800,00	800,00	273,00	CI	0,010218661	
	Vrtný průměr	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Geometrický průměr	Váha	K
330,00	L1	1,00	0,50	0,14	0,14	0,14	2,00	0,377964473	0,041748	6,063689403
430,00	L2	2,00	1,00	0,20	0,20	0,20	3,00	0,602846679	0,066587	6,080636106
800,00	L3	7,00	5,00	1,00	1,00	1,00	9,00	2,608465471	0,288117	6,023039377
800,00	L4	7,00	5,00	1,00	1,00	1,00	9,00	2,608465471	0,288117	6,023039377
800,00	L5	7,00	5,00	1,00	1,00	1,00	9,00	2,608465471	0,288117	6,023039377
273,00	L6	0,50	0,33	0,11	0,11	0,11	1,00	0,247278792	0,027313	6,093116197
	celkem							9,053486358	1	6,051093306

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce vrtné průměry je pravidlo preferencí maximalizační. Absolutní preference je u variant L3, L4 a L5 před variantou L6, protože rozdíl mezi variantami je větší než 500 mm. Také u těchto variant je velmi silná preference oproti variantě L1 díky rozdílu, který je větší než 400 mm. U varianty L3 je silná preference oproti variantě L2, protože je zde rozdíl větší než 300 mm. Velmi slabá preference je u variant, které mají mezi sebou menší rozdíl než 200 mm.

## Druh pojezdu

Tabulka 7 - preference u kritéria – druh pojezdu

		Pás	Kolo	Pás	Pás	Kolo	Pás	CI	0	
	Druh pojezdu	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Geometrický průměr	Váha	K
Pás	L1	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,44224957	0,214286	6
Kolo	L2	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,480749857	0,071429	6
Pás	L3	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,44224957	0,214286	6
Pás	L4	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,44224957	0,214286	6
Kolo	L5	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,480749857	0,071429	6
Pás	L6	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,44224957	0,214286	6
	celkem							6,730497995	1	6

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce u druhu pojezdu je slabě preferovaná varianta pásového pojezdu před kolovým pojezdem.



## Hmotnost

Tabulka 8 - preference u kritéria – hmotnost

		8,50	14,00	14,00	28,00	26,00	5,00	CI	0,059659068	
	Hmotnost	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Geometrický průměr	Váha	K
8,50	L1	1,00	4,00	4,00	8,00	7,00	0,50	2,766175109	0,292349	6,337721617
14,00	L2	0,25	1,00	1,00	6,00	5,00	0,20	1,069913194	0,113076	6,273916262
14,00	L3	0,25	1,00	1,00	6,00	5,00	0,20	1,069913194	0,113076	6,273916262
28,00	L4	0,13	0,17	0,17	1,00	0,91	0,11	0,265559629	0,028066	6,335163846
26,00	L5	0,14	0,20	0,20	1,10	1,00	0,11	0,29786446	0,03148	6,233445376
5,00	L6	2,00	5,00	5,00	9,00	9,00	1,00	3,992477744	0,421953	6,335608692
	celkem							9,461903329	1	6,298295342

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce hmotnost preferujeme nižší hmotnost vrtné soupravy. Absolutní preference je mezi variantou L6 a mezi variantami L4 a L5, protože rozdíl mezi hodnotami je vyšší než 20 tun. Velmi silná preference je u variant s rozdílem od 15 tun do 20 tun, silná preference je u variant v rozmezí rozdílu 7 až 15 tun a slabá preference je v rozmezí od 1 až po 7 tun.

## Šířka průjezdu

Tabulka 9 - preference u kritéria – šířka průjezdu

		1,70	2,50	2,50	2,55	2,55	1,70	CI	0,02144863	
	Šířka průjezdu	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Geometrický průměr	Váha	K
1,70	L1	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00	2,924017738	0,354428	6,107243152
2,50	L2	0,20	1,00	1,00	2,00	2,00	0,20	0,7368063	0,08931	6,107243152
2,50	L3	0,20	1,00	1,00	2,00	2,00	0,20	0,7368063	0,08931	6,107243152
2,55	L4	0,20	0,50	0,50	1,00	1,00	0,20	0,464158883	0,056262	6,107243152
2,55	L5	0,20	0,50	0,50	1,00	1,00	0,20	0,464158883	0,056262	6,107243152
1,70	L6	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00	2,924017738	0,354428	6,107243152
	celkem							8,249965843	1	6,107243152

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce šířky průjezdu je preference u hodnot minimalizační. Mezi variantami L1, L6 a variantami L2, L3, L4 a L5 je preference velmi silná. Mezi ostatními variantami je slabá preference nebo rovnoměrnost.

## Výsledná tabulka

Tabulka 10 - výsledek

	0,372677835	0,270022285	0,1916908	0,068505861	0,045275597	0,051827621	
Souprava	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Výsledné hodnocení
L1	0,298369012	0,068384364	0,041747947	0,214285714	0,292348697	0,35442786	0,183948759
L2	0,154191523	0,095026681	0,066587241	0,071428571	0,113075896	0,089310224	0,110528837
L3	0,061433298	0,188020024	0,288117237	0,214285714	0,113075896	0,089310224	0,153321991
L4	0,032683664	0,458395825	0,288117237	0,214285714	0,028066196	0,056261916	0,210053451
L5	0,077401105	0,144765108	0,288117237	0,071428571	0,031480396	0,056261916	0,132399396
L6	0,375921398	0,045407997	0,027313102	0,214285714	0,421952921	0,35442786	0,209747565

Zdroj: vlastní zpracování

Z výsledné tabulky vyplývá, že nejideálnější variantou je varianta L4, v těsném závěsu za ní varianta L6. Z výsledků vyplývá, že nejvhodnější variantou je varianta L4.

Rozhodnutí o výběru varianty nezávisí pouze na výsledku metody AHP, ale na více faktorech. V případě, že by se společnost rozhodla udělat výběrové řízení pouze pro tento projekt, mohla by se vzít v potaz i varianta L6, která se těsně umístila za variantou L4. Díky své výhodnější ceně, by společnost nemusela investovat velké množství finančních prostředků do varianty L4, ale mohla by si vybrat cenově výhodnější variantu L6, která splňuje všechny podmínky projektu. Další možností, kterou by mohla využít společnost Geotec-GS, a. s., je pronájem varianty L6, která by ze všech možností byla ekonomicky nejvýhodnější.

Vzhledem ke dlouhodobé spolupráci na projektu výstavby metra D, kde se dá očekávat hydrogeologické měření ve více částech linky metra, by společnost mohla získat další podobné projekty do budoucna jako je právě tento. V tom případě by mohla investovat větší část finančních prostředků do varianty L4, investovaná částka by se však musela společnosti navrátit a vygenerovat zisk.

V případě koupě varianty L4, by se společnost mohla dostat i k jiným projektům, díky výhodě výkonu a velikosti této varianty. V České republice disponuje podobnými zařízeními jen malý počet firem a pro společnost Geotec-GS, a. s., by to mohlo znamenat lepší pozici na trhu.

## 5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vybrat z několika druhů variant vrtných souprav nejvhodnější typ vrtné soupravy pro projekt společnosti GeoTec a. s. Tento výběr se provedl pomocí vícekriteriální analýzy, následně byly tyto výsledky okomentovány a byla navržena možná řešení.

V teoretické části práce byla popsána dvě hlavní témata. Prvním z hlavních témat byla Hydrogeologie, kde bylo podrobně popsáno využití vrtných souprav, byl vysvětlen účel hydrogeologických vrtných souprav, popis metod měření chemického složení podzemních vod a okolních hornin, k čemu hydrogeologický průzkum slouží, co to hydrogeologie je a čím se zabývá, typy vrtných souprav a druhy hlubinných vrtání. V druhém hlavním tématu s názvem Metody vícekriteriálního rozhodování byla představena teorie vícekriteriálního rozhodování, stanovení vah a další metody vícekriteriálního rozhodování.

Na začátku praktické části byla představena společnost, ve které se aplikovaly rozhodovací metody. Byla využita jejich projektová dokumentace, která vytyčovala požadavky pro zvolení vhodného typu vrtné soupravy a na základě těchto požadavků byla vybrána kritéria pro splnění účelu využití vrtných souprav. K těmto kritériím se stanovily váhy pomocí Saatyho metody. Byly zde popsány různé druhy variant, mezi kterými se rozhodovalo. Po stanovení vah pomocí Saatyho metody, byla použita metoda AHP pro výběr nejvhodnější varianty.

Z výsledku vyplynulo, že společnost si může vybrat ze dvou variant L4 a L6. Každou z těchto variant může společnost využít dle její současné finanční situace. Varianta vrtné soupravy L4 je vhodná jako dlouhodobá investice podniku, varianta L6 je pouze účelově vhodná pro daný projekt. Výsledky z praktické části práce byly podrobně okomentovány pod tabulkou s výsledky.

## 6 Seznamy

### 6.1 Seznam tabulek

Tabulka 1 - zapsané varianty v tabulce.....	37
Tabulka 2 - preference kritérií .....	38
Tabulka 3 - vypočítaná konzistence matice a váhy kritérií.....	38
Tabulka 4 - preference u kritéria – cena.....	39
Tabulka 5 - preference u kritéria – hloubka vrtu.....	39
Tabulka 6 - preference u kritéria – vrtný průměr.....	40
Tabulka 7 - preference u kritéria – druh pojezdu.....	40
Tabulka 8 - preference u kritéria – hmotnost .....	41
Tabulka 9 - preference u kritéria – šířka průjezdu.....	41
Tabulka 10 - výsledek.....	42

### 6.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 - příklad, jak se zanáší data z průzkumu do grafu .....	15
Obrázek 2 - hydrogeologických vrt – jádrového vrtání s proplachem .....	20
Obrázek 3 - Konstrukce hydrogeologického vrtu .....	22
Obrázek 4 - příklad metody párového porovnání .....	25
Obrázek 5 - příklad Saatyho škály preferencí .....	26
Obrázek 6 - příklad preferencí v Saatyho metodě.....	26
Obrázek 9 - příklad Fullerova trojúhelníku .....	27
Obrázek 10 - schéma průzkumného vrtu .....	34

### 6.3 Seznam rovnic

(3.1).....	27
(3.2).....	27

### 6.4 Seznam příloh

Příloha 1 - Vrtná souprava Wirth B-3.....	I
Příloha 2 - Vrtná souprava PVSD-R .....	I

## 7 Seznam použitých zdrojů

### 7.1 Internetové

Ministerstvo životního prostředí. Základní principy hydrogeologie [online]. 2010, 2010(1), 37 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky\\_ekologicke\\_zateze/\\$FILE/OES-Hg\\_prirucka\\_TT-20100801.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf)

Olivková, I. (2011) „APLIKACE METOD VÍCEKRITERIÁLNÍHO ROZHODOVÁNÍ PŘI HODNOCENÍ KVALITY VEŘEJNÉ DOPRAVY“, *Perner's Contacts*, 6(3), s. 293–303. Dostupné z: <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/874>

RAHIM, Robbi, S SUPIYANDI, A P U SIAHAAN, et al. TOPSIS Method Application for Decision Support System in Internal Control for Selecting Best Employees. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 2018, 1028 [cit. 2023-03-06]. ISSN 1742-6588. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/1028/1/012052

ABDULLAH, Lazim, Waimun CHAN a Alireza AFSHARI. Application of PROMETHEE method for green supplier selection: a comparative result based on preference functions. *Journal of Industrial Engineering International* [online]. 2019, 15(2), 271-285 [cit. 2023-03-06]. ISSN 1735-5702. Dostupné z: doi:10.1007/s40092-018-0289-z

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* [online]. 2008, 1(1) [cit. 2023-03-06]. ISSN 1753-1446. Dostupné z: doi:10.1504/IJSSCI.2008.017590

Technika a technologie hlubinného vrtání. [online]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/techldob/hlubinnevrtani/vrtani/vrtyhydrogeologicke.html>

WEDLEY, William C. Consistency prediction for incomplete AHP matrices. *Mathematical and Computer Modelling* [online]. 1993, 17(4-5), 151-161 [cit. 2023-03-09]. ISSN 08957177. Dostupné z: doi:10.1016/0895-7177(93)90183-Y

FEDORKO, Igor. *Metoda na zvýšení konzistence matice párových porovnání v Analytickém hierarchickém procesu*. Praha: eXclusive Marketing, 2019. ISSN 2453-756X.

### 7.2 Literární

NEMEČEK, Alojz a Jiří JANATA. *Oceňování majetku v pojišťovnictví*. V Praze: C.H. Beck, 2010. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7400-114-7.

KUČEROVÁ, Ludmila a Oldřich TUREK. *Strojní zařízení: učebnice pro odborná učiliště: obor zednické práce*. Praha: Parta, 2005. ISBN 80-7320-079-1.

KOŽÍŠEK, Josef a Miroslav JEDLIČKA. *Provozně geologická příručka*. Praha: nakladatelství technické literatury, 1981.

SARGA, Karel a Vladimír LETKO. *Technika průzkumných prací*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1983.

JEŘÁBEK, Karel. *Stroje pro zemní práce: Silniční stroje*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 80-7078-389-3.

ZEMAN a VOJTĚCH. *Technika průzkumných prací*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1985.

JEDLIČKA a PRAŽSKÝ. *Technologie jádrového vrtání*. Praha: SNTL, 1969.

BRŮHOVÁ FOLTÝNOVÁ, Hana. *Hodnocení plánů a projektů mobility: průvodce pro správnou evaluaci opatření a strategií udržitelné městské mobility*. Praha: Grada, 2022. ISBN 978-80-271-3244-7.

OLIVKOVÁ, Ivana. *APLIKACE METOD VÍCEKRITERIÁLNÍHO ROZHODOVÁNÍ PŘI HODNOCENÍ KVALITY VEŘEJNÉ DOPRAVY*. Ostrava, 2010.

ŽIŽKA. *Vícekritériální rozhodování*. 2013.

SAATY, Thomas L. *Decision making with the analytic hierarchy process*. 1. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 2008.

ZARDARI, Noorul Hassan, Kamal AHMED, Sharif Moniruzzaman SHIRAZI a Zulkifli Bin YUSOP. *Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management*. Imprint: Springer, 2015. SpringerBriefs in Water Science and Technology. ISBN 978-3-319-12585-5.

ARVIND Jayant and JANPRIY Sharma, 2018. *A comprehensive literature review of mcdm techniques electre, promethee, vikor and topsis applications in business competitive environment*, *International Journal of Current Research*, 10, (02) 65461-65477.

Xu, Z. (2007). *Methods for aggregating interval-valued intuitionistic fuzzy information and their application to decision making*. *Control and Decision* 22.2: 215-219.

Chatterjee, P; Chakraborty, S. (2012). *Material selection using preferential ranking methods*. *Mat. Design* 35: 384-393

Murat S, Kazan H, Coskun SS (2015) *An application for measuring performance quality of schools by using the PROMETHEE multi criteria decision making method*. *Proc Soc Behav Sci* 195(1):729–738.

Ulengin F, Topcu Y, Sahin SO (2001) *An Integrated decision aid system for Bosporous water crossing problem*. *Euro J Oper Res* 134:179–192

Ding T Liang L Yang M and Wu H, 2016 *Multiple Attribute Decision Making Based on Cross-Evaluation with Uncertain Decision Parameters* *Math. Probl. Eng.* 2016.

Łatuszyńska A, Jan. 2014 *Multiple-Criteria Decision Analysis Using Topsis Method For Interval Data In Research Into The Level Of Information Society Development* *Folia Oeconomica Stetin*. 13

- Zanakis S H Solomon A Wishart N and Dublish S, 1998 *Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods Eur. J. Oper. Res.* 107
- Rahim R Nurarif S Ramadhan M Aisyah S and Purba W, Dec. 2017 *Comparison Searching Process of Linear, Binary and Interpolation Algorithm J. Phys. Conf. Ser.* 930
- Kabir G and Hasin M A A, 2012 *Comparative analysis of TOPSIS and Fuzzy TOPSIS for the evaluation of travel website service quality Int. J. Qual. Res.* 6
- YANG, Xin-She. *Multi-Objective Optimization. In: Nature-Inspired Optimization Algorithms* [online]. Elsevier, 2014, 2014, s. 197-211 [cit. 2023-03-09]. ISBN 9780124167438. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-416743-8.00014-2
- BLAŽEK, Milan. *Vrtné súpravy*. Košice: Východoslovenské vydavateľstvo, 1978
- MOSS, Roscoe Jr. a George E. MOSS. *Handbook of Ground Water Development*. Los Angeles, California: A Wiley-Interscience pub., 1990. ISBN 0-471-85811-8.
- MAZÁČ, Josef a Jiří KONÍČEK. Využití technologie rotačně-příklepného vrtání v důlních podmínkách OKR a při vrtání vrtů pro tepelná čerpadla. *Acta Montanistica Slovaca*. 2004, 9(3), 243-247.
- KOLAJOVÁ, Lenka. *Týmová spolupráce: jak efektivně vést tým pro dosažení nejlepších výsledků*. Praha: Grada, 2006. Poradce pro praxi. ISBN 80-247-1764-6.
- SAATY, T. 1994, Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 24, Issue 6: 19-43.

## 8 Samostatné přílohy

Příloha 1 - Vrtná souprava Wirth B-3



Zdroj: <https://www.ekodrill.cz/sluzby/vrtane-studny/typy-vrtnych-souprav/>

Příloha 2 - Vrtná souprava PVSD-R



Zdroj: <https://www.ekodrill.cz/sluzby/vrtane-studny/typy-vrtnych-souprav/>