

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní

Síťová analýza pro plánování podnikových procesů

Bakalářská práce

2020

Svatava Janská

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní  
Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Svatava Janská**  
Osobní číslo: **E17311**  
Studijní program: **B6208 Ekonomika a management**  
Studijní obor: **Ekonomika a provoz podniku**  
Téma práce: **Síťová analýza pro plánování podnikových procesů**  
Zadávající katedra: **Ústav matematiky a kvantitativních metod**

### Zásady pro vypracování

Cíl práce: zmapovat problematiku plánování procesů v podniku, které vedou na síťovou analýzu. Dále budou popsány metody síťové analýzy, které budou aplikovány na řešení reálných příkladů.

Osnova:

- Úvod do řízení projektů.
- Úvod do teorie grafů.
- Metody síťové analýzy.
- Aplikace síťové analýzy na reálný projekt.

Rozsah pracovní zprávy: **35**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

FIALA, P. Řízení projektů. 2. přepracované vyd. Praha : Oeconomica, 2008. 186 s. ISBN 978-80-245-1413-0.  
JABLONSKÝ, J. Operační výzkum. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.  
PLEVNÝ, M, ŽÍŽKA, M. Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007. 296 s. ISBN 978-80-7043-435-2.  
ŠUBRT, T. Ekonomicko-matematické metody. 2. upravené vyd. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Jana Heckenbergerová, Ph.D.**  
Ústav matematiky a kvantitativních metod

Datum zadání bakalářské práce: **2. září 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2020**

L.S.

---

**doc. Ing. Romana Provazníková, Ph.D.**  
děkanka

---

**doc. Ing. Marcela Kožená, Ph.D.**  
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 2. září 2019

## **PROHLÁŠENÍ**

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěla bych poděkovat paní Mgr. Janě Heckenbergerové, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a za veškerý čas, který mi věnovala během psaní této bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala řediteli společnosti SERVISBAL OBALY, s. r. o. panu Ing. Lukáši Jiřímu Horčíčkovi za poskytnutí podkladů pro tuto bakalářskou práci a za jeho čas.

## **ANOTACE**

Práce je z počátku věnována stručné historii projektového řízení a historii a vývoji grafů obecně. Následuje kapitola zaměřená na síťovou analýzu a její metody. Hlavním cílem této bakalářské práce je aplikace metod síťové analýzy na konkrétní projekt v podniku. Na základě těchto metod bude vyhodnoceno, jaké činnosti při realizaci daného projektu jsou kritické.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

projekt, graf, kritické činnosti, kritická cesta

## **TITLE**

Network analysis for business process planning

## **ANNOTATION**

The work is initially devoted to a brief history of project management and history and development of graphs in general. The following chapter focuses on network analysis and its methods. The main aim of this thesis is the application of network analysis methods to a specific project in a company. Based on these methods, it will be evaluated what activities are critical in the implementation of the project.

## **KEYWORDS**

project, graph, critical activities, critical path

# Obsah

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	9
SEZNAM ZKRATEK.....	10
Úvod.....	11
1 Úvod do řízení projektů .....	12
1. 1 Historie řízení projektů.....	12
1. 2 Základní pojmy a rysy řízení projektů .....	13
1. 3 Fáze projektového řízení .....	14
2 Úvod do teorie grafů .....	16
2. 1 Historický vývoj teorie grafů.....	16
2. 2 Základní pojmy teorie grafů .....	16
2. 3 Pravidla při sestavování grafů .....	17
3 Síťová analýza.....	18
3. 1 Charakteristika síťové analýzy .....	18
3. 2 Základní pojmy síťové analýzy .....	18
3. 3 Podmínky pro vytváření projektů s využitím síťových grafů .....	19
4 Metody síťové analýzy.....	20
4. 1 Metoda kritické cesty CPM.....	20
4. 1. 1 Vzorový příklad – metoda CPM.....	24
4. 1. 2 Výpočet v síťovém grafu .....	25
4. 1. 3 Metoda CPM – výpočet v tabulce .....	27
4. 2 Metoda PERT .....	29
4. 2. 1 Vzorový příklad – metoda PERT .....	31
5 Další metody .....	33
5. 1 Metoda GERT .....	33
5. 2 Metoda MPM .....	34
6 Praktická část .....	35

6. 1 O společnosti – SERVISBAL OBALY, s. r. o.....	35
6. 2 Výroba a produkty .....	35
7 Zajištění modulární pobočky pro zákazníka .....	37
7.1 Sestavení hranově ohodnoceného síťového grafu .....	40
7.2 Výpočet kritické cesty v síťovém grafu – metoda CPM .....	40
7.3 Výpočet kritické cesty v tabulce – metoda CPM .....	42
7.4 Výpočet kritické cesty – metoda PERT .....	43
8 Porovnání metod .....	46
8.1 Metoda CPM a PERT .....	46
9 Shrnutí .....	47
10 Závěr .....	48
Literatura .....	49
Internetové zdroje.....	50
Přílohy .....	51



## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Projektový trojúhelník .....	14
Obrázek 2: Orientovaný a neorientovaný graf .....	17
Obrázek 3: Hranově ohodnocený síťový graf .....	19
Obrázek 4: Uzlově ohodnocený síťový graf .....	19
Obrázek 5: Uzel při výpočtu metodou CPM v síti .....	22
Obrázek 6: Síťový graf pro projekt společnosti xyz .....	25
Obrázek 7: Výpočet nejdříve možných začátků činností .....	26
Obrázek 8: Výpočet nejpozději přípustných konců .....	27
Obrázek 9: Výpočet kritické cesty - metoda PERT .....	32
Obrázek 10: Rozhodovací uzly .....	33
Obrázek 11: Síťový graf pro projekt SERVISBAL OBALY .....	40
Obrázek 12: Kritická cesta v projektu SERVISBAL OBALY .....	41
Obrázek 13: Kritická cesta v projektu SERVISBAL OBALY .....	44
Tabulka 1: Činnosti, jejich doba trvání a činnosti, které musí předcházet .....	24
Tabulka 2: Metoda CPM - tabulkový výpočet .....	28
Tabulka 3: Vstupní data pro metodu PERT .....	31
Tabulka 4: Činnosti, jejich doba trvání a činnosti, které musí předcházet .....	38
Tabulka 5: Výpočet kritických činností v tabulce .....	42
Tabulka 6: Vstupní data pro metodu PERT .....	43

## **SEZNAM ZKRATEK**

CPM	Metoda kritické cesty
PERT	Program Evaluation and Review Technique
MPM	Metra Potential Method
GERT	Graphical Evaluation and Review Techniq

## Úvod

Metody síťové analýzy jsou dnes ve velké míře využívány pro podporu manažerského rozhodování, a to nejenom u velkých společností, ale jejich velký přínos si začínají uvědomovat i střední a menší firmy. Z často používaných metod síťové analýzy jsou například metoda PERT, anebo CPM, kterým se v této práci věnuji především.

Hlavním cílem této bakalářské práce je analyzovat za pomoci síťové analýzy řízení projektů v daném podniku. První kapitola bakalářské práce se bude zabývat samotným řízením projektů a jeho historií. Dále zde budou rozebrány základní fáze projektového řízení. Z projektového řízení se bakalářská práce přesune k základům teorie grafů. Grafy slouží v projektovém řízení ke znázornění jednotlivých činností tak, jak jdou za sebou, umožňují lépe vidět souvislosti mezi jednotlivými činnostmi. Teorie grafů se váže na síťovou analýzu a její metody. Síťová analýza umožňuje zkrátit čas potřebný k realizaci daného projektu. Díky svým metodám, které zahrnují jak grafické, tak i výpočtové řešení, umožňují projektovým manažerům zkrátit dobu trvání celého projektu.

Při tvorbě praktické části bakalářské práce bude využito spolupráce se společností SERVISBAL OBALY, s. r. o., která už dlouhou dobu působí na trhu s obalovým materiálem. Společnost se chce přiblížit s výrobou obalů co nejbližší ke svým zákazníkům, a tak se rozhodla pro zajištění modulární pobočky v místě zákazníků, kteří budou mít o takovou pobočku zájem. Praktický příklad bude vyřešen pomocí dvou základních metod, CPM a PERT. Následně budou metody porovnány.

# 1 Úvod do řízení projektů

Řízení projektů souvisí s plánováním jednotlivých činností tak, aby bylo dosaženo stanovených cílů. Projektové řízení je ve své podstatě vědou a zároveň uměním. Některé postupy, jak řídit projekty, lze vyčíst z odborné literatury, jiné je nutné osvojit si při reálném řízení projektů.

## 1.1 Historie řízení projektů

Historie řízení projektů sahá až do dějin starověkého Egypta. První řízení projektů bývá spojováno se stavbou egyptských pyramid a Velké čínské zdi. Novější historie řízení projektů, kolem roku 1900, je spojena se zavedením Ganttových diagramů, jako prostředek pro řízení a plánování stavby lodí.

V padesátých a šedesátých letech 20. století vznikalo mnoho nových metod, nástrojů a technik, které byly používány pro vojenské a kosmické projekty. Většina těchto technik je používána do dneška. V těchto letech byly rozvinuty metody CPM a PERT, využívající grafického vyjádření projektů. Byly vytvořeny dvě základní možnosti reprezentace projektů pomocí síťových grafů, hranová reprezentace a uzlová reprezentace. Více v následujících kapitolách.

V sedmdesátých letech došlo k rozšíření řízení projektů. Byly propracovány specifické nástroje a techniky. V těchto letech se projektové řízení začalo brát jako profese a začaly vznikat první profesní společnosti.

V osmdesátých letech byly dříve vyvinuté techniky spojeny do vhodných praktických postupů. Sjednocení nákladů, času a kvality bylo dříve vyjadřováno jako magický trojúhelník při hledání řešení všech požadavků, kdy při změně jednoho došlo k ovlivnění dalšího. V těchto letech se začaly zavádět osobní počítače. Manažeři museli být vybaveni počítačovou gramotností, neboť se začali setkávat s prvními nástroji v podobě softwarů pro řízení projektů.

Devadesátá léta jsou charakteristická bouřlivým rozvojem komunikačních a informačních technologií, a to včetně používání internetu v oblasti projektového řízení. V těchto letech se začalo využívat přístupu k řízení za pomoci projektů. V dnešní době nástroje projektového řízení umožňují rychle a efektivně reagovat na změny projektů. Poskytují flexibilitu pro plánování, řízení a sledování projektů. Proniknutí projektového řízení do řízení v praxi vyžaduje porozumění a pozornost všech účastníků (Fiala, 2004).

## **1. 2 Základní pojmy a rysy řízení projektů**

V této části se budeme zabývat pojmy, jako je projekt, činnost, řízení projektů, časová analýza projektů, nákladová analýza, projektové řízení. Podle Jablonského (2007), Fialy (2004), Sixty a Žižky (2009), lze následující pojmy definovat takto:

### **Projekt**

Projekt lze charakterizovat jako soubor činností, které mají přesně definovanou návaznost. V projektu je dané, jak jdou jednotlivé činnosti za sebou. Cílem projektu je dosažení stanoveného cíle při stanoveném čase, zdrojích a nákladech. Projekt je možné realizovat pouze jedenkrát bez opakování, má několik charakteristických rysů – u projektu je vždy definován datum začátku a konec uskutečnění, dále je stanoven rámec pro čerpání zdrojů potřebných pro jeho realizaci. Projekt představuje značné prvky neurčitosti a rizika.

### **Činnost**

Činnost je definována jako aktivita, jež je prvkem projektu a je určena dobou trvání. Činnost je výsledkem práce lidských zdrojů, finančních zdrojů, technologie, zařízení, surovin, materiálu, energie atd. Výsledkem činnosti jsou například výrobky nebo služby.

### **Řízení projektů**

Řízení projektů je souhrn metod, nástrojů, postupů a technik a slouží také pro plánování projektů. Při řízení projektů se sledují důležité body projektu, jako je čas, náklady, zdroje, rizika, rozsah a kvalita. Jedním ze základních prostředků efektivního řízení projektů je modelování projektů pomocí grafů.

### **Časová analýza projektů**

Je důležité stanovit nejdříve možné a nejpozději přípustné termíny začátků a konců realizace daných činností. Časová analýza vychází z dob trvání realizace činností.

### **Nákladová analýza**

Nákladová analýza se zaměřuje na určení nejvhodnějšího průběhu projektu z hlediska vzájemného vztahu času a nákladů na realizaci projektu. Analýza zahrnuje určení druhů nákladů.

## Projektové řízení

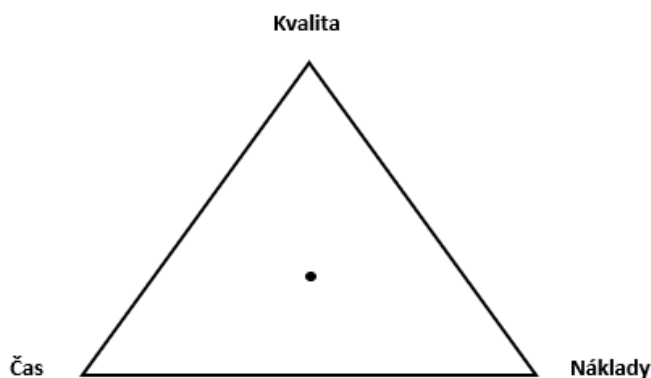
Projektové řízení je řízení za pomoci sestavených projektů. Je to efektivní nástroj pro dosahování projektových cílů. Projektové řízení zahrnuje vytvoření organizační struktury, dále zahrnuje řízení jednotlivých projektů a koordinaci projektů z hlediska časových termínů a dostupných zdrojů.

### 1.3 Fáze projektového řízení

Projektové řízení zahrnuje pět odlišných manažerských činností. Klíčovou fází je počáteční činnost, kde je potřeba definovat projektový cíl. Bez stanovení tohoto cíle, by nebylo možné přejít k dalším fázím. Po definování cíle dochází k naplánování daného projektu. Po stanovení plánu, se plán realizuje a následně dochází k vyhodnocení, kontrole a ukončení projektu. Tyto fáze budou rozebrány v následující kapitole.

#### Definice projektových cílů

V této fázi je nutné stanovit povahu a rozsah projektu. Pokud tato fáze nebude provedena dobře, je pravděpodobné, že celý projekt bude neúspěšný. Klíčovým prvkem projektu, který je zde potřebný, je pochopení podnikatelského prostředí, aby následně mohl být vytvořen plán pro dosažení cílů. Základem této fáze je tzv. projektový trojúhelník. Používá se k analýze projektů. Projektový trojúhelník, někdy také železný trojúhelník, je modelem omezení projektového řízení. Má tři základní ukazatele – čas, náklady a kvalitu. Trojúhelníkový model ukazuje, jak nelze jeden prvek změnit bez ovlivnění ostatních prvků v trojúhelníku. Všechny prvky jsou propojené – klíčovým prvkem projektového trojúhelníku je potřeba dosáhnout současně tří nezávislých cílů – ne pouze jednoho (Rosenau, 2000).



Obrázek 1: Projektový trojúhelník

Zdroj: (Vlastní zpracování dle – Fiala, 2004)

## **Plánování**

Aby bylo možné zahájit realizaci projektu, musí být předtím provedeno řádné plánování. V této fázi dochází k budování infrastruktury projektu, která umožní dosáhnout stanovených cílů v rámci předem stanovených časových, rozpočtových a kvalitativních omezení. Připravené plány pomáhají koordinovat projekt a napomáhají komunikaci, poskytují podklad pro monitorování průběhu projektu, jsou důležité pro splnění požadavků zadavatele a také slouží k tomu, aby se předcházelo problémům. Efektivní projektový plán má tyto vlastnosti (Rosenau, 2000):

- Stanovuje vše potřebné k úspěšnému dohotovení projektu,
- zahrnuje harmonogram úkolů,
- formuluje všechny potřebné zdroje a zajišťuje jejich dostupnost v požadovaný čas,
- obsahuje rozpočet nákladů pro všechny úkoly,
- počítá s rezervou pro nečekané události,
- je důvěryhodný pro všechny v týmu.

## **Realizace**

Jakmile se projekt dostane do fáze realizace, k dispozici by měly být všechny potřebné zdroje k provádění činností projektu. V této fázi dochází k realizaci všech naplánovaných úkolů, mělo by dojít k dokončení výstupů projektu a mělo by být dosaženo projektového cíle. Výsledkem je produkt nebo služba, které splňují všechny požadavky projektu (Kolmetz, West, Warner, 2005)

## **Kontrola**

Kontrolní fáze je součástí fáze realizační. Během realizace je důležité neustále kontrolovat a komunikovat, aby nedocházelo k odchýlení od plánu. Je nutné kontrolovat stanovené cíle, termíny a čerpání zdrojů a nákladů. Pokud dojde k odchýlení od stanoveného plánu, to znamená odchýlení ve všech rovinách projektového trojúhelníku, musí manažer zasáhnout a zahájit změnové řízení (Watt, 2014).

## **Ukončení**

Poslední fází projektu je ukončení. Klient projektu přebírá kontrolu nad produktem projektu a projektový management ukončuje projekt. Veškeré dokumenty, které byly využívány při projektovém řízení, jsou archivovány pro následné použití (Watt, 2014).

## 2 Úvod do teorie grafů

Mezi nejčastější způsoby modelování projektů patří vyjádření pomocí grafů. Mnoho reálných případů je možné znázornit pomocí grafů, které jsou tvořeny uzly a hranami. Takto sestrojený graf může znázorňovat propojení jednotlivých činností v projektu, aby byly lépe vidět souvislosti mezi jednotlivými činnostmi. V této kapitole bude rozebrána teorie grafů a základní pojmy grafů, které se váží na síťovou analýzu a její metody.

### 2.1 Historický vývoj teorie grafů

Kořeny historie teorie grafů sahají až do 18. a 19. století, ale první kniha byla vydána až roku 1936. Problematika teorie grafů patří mezi poměrně mladou část matematiky. Prudký rozvoj této disciplíny nastal v druhé polovině 20. století, kdy se tato teorie grafů začala uplatňovat nejenom v řadě matematických oblastí, ale uplatnění našla také například ve fyzice, v elektrotechnice, ekonomii, lingvistice a chemii (Šišma, 1998).

Leonhard Euler, švýcarský matematik a fyzik, položil základ k teorii grafů. Stal se autorem článku z roku 1736, který řeší tzv. „problém mostů města Königsberg“. Zde se poprvé řešil problém pomocí grafů (Šišma, 1998).

První kniha o teorii grafů, která byla napsána v českém jazyce a jejímž autorem je Jiří Sedláček, vyšla v roce 1964. Tato kniha v následujících letech vyšla dvakrát německy a jednou v bulharském vydání. K rozšíření a přepracování českého vydání došlo roku 1977 (Sedláček, 1981).

### 2.2 Základní pojmy teorie grafů

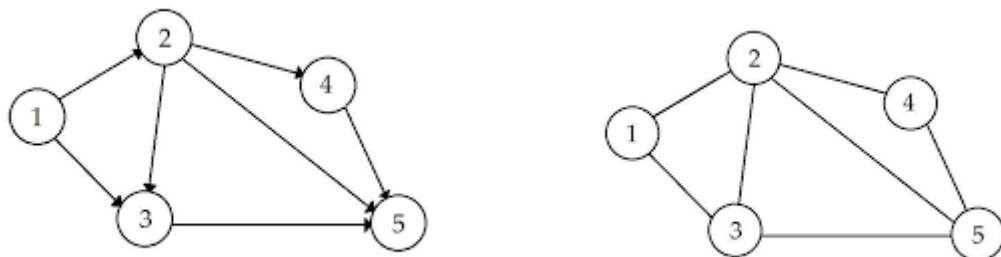
Následující kapitola je věnována vysvětlení některých základních pojmů z teorie grafů, které budou používány v ostatních kapitolách bakalářské práce. Nejprve je zde popsáno, co je to graf, dále se zde vysvětlují pojmy uzly a hrany grafu. Vysvětlení těchto pojmů je převzato z knihy Ekonomicko-matematické metody (Šubrt, 2015).

Graf je uspořádaná dvojice, která sestává z množiny uzlů a množiny hran, přitom hrany jsou dvojice uzlů. Grafem se rozumí takový útvar, který v rovině lze znázornit pomocí bodů a spojnic mezi nimi. Jednotlivé body se označují jako uzly a spojnice (čáry) se označují jako hrany. Hrany v grafu reprezentují buď jednotlivé činnosti a uzly představují zahájení nebo ukončení realizace činností. Toto tvrzení platí v případě, že se jedná o hranově ohodnocený síťový graf. V případě, že uzly reprezentují jednotlivé činnosti a hrany zahájení nebo ukončení realizace činností, jedná se o uzlově ohodnocený graf.



Hrany se dělí buď na orientované, nebo neorientované. Jestliže se jedná o neorientovanou hranu grafu, není zde určeno pořadí vrcholů, to znamená, že hrana nemá daný směr. Pokud jde o orientovanou hranu, tak ta je uspořádaná jako dvojice uzlů, je zde určeno jejich pořadí. Orientovaná hrana má přesně definovaný směr od prvního uzlu neboli počátečního uzlu hrany, až ke druhému, nebo také koncovému uzlu hrany. Průchod hranou není umožněn v opačném směru, pouze ve směru od počátečního ke koncovému uzlu.

Je-li graf sestaven pouze z neorientovaných hran, jedná se o neorientovaný graf, sestává-li z hran orientovaných, jde o orientovaný graf. Pokud graf obsahuje jako orientované tak i neorientované hrany jedná se o částečně orientovaný graf.



Obrázek 2: Orientovaný a neorientovaný graf

Zdroj: (Jablonský, 2007)

Na prvním obrázku je vidět, že u orientovaného grafu je směr přikázán pomocí šipek. Tedy průchod v tomto grafu je umožněn například pouze z uzlu  $u_1$  do uzlu  $u_2$ . Na obrázku vpravo, u neorientovaného grafu je průchod povolen po všech hranách v obou směrech.

### 2.3 Pravidla při sestavování grafů

Při sestavování grafů je nutné dodržovat určitá pravidla. Kdyby pravidla nebyla dodržována, grafy by nebyly srozumitelné. Jablonský (2007) uvádí následující pravidla:

- Při zakreslování uzlů je nutné, aby každý uzel měl tvar kroužku a aby každý uzel obsahoval příslušný index,
- hrany spojují jednotlivé uzly přímými nebo lomenými čarami,
- orientace hran je určena šipkou, hrana je zakreslena u koncového uzlu dané hrany,
- ohodnocení hrany je vyjádřeno číselnou hodnotou, uvedenou u hrany.

## 3 Síťová analýza

Síťová analýza je název pro metody, které zobrazují a řeší složité návaznosti procesů. Umožňuje určit časový průběh a návaznost jednotlivých činností procesů. Dále umožňuje stanovit optimální průběh složitého procesu z hlediska času, nákladů a využití zdrojů. Základem metod síťové analýzy jsou síťové grafy, které jsou grafickým modelem složitého procesu (Český svaz stavebních inženýrů, 1997).

### 3.1 Charakteristika síťové analýzy

Síťová analýza se nejčastěji charakterizuje jako soubor metod a modelů, které se zabývají vyhodnocováním kvality projektů z hlediska času, nákladů nebo zdrojů nutných k jejich realizaci. Síťová analýza byla poprvé použita v padesátých letech minulého století, od té doby se síťová analýza vyvíjela, vzniklo několik desítek nových metod, které se dnes používají v nejrůznějších oblastech ekonomické sféry (Fiala, 2004).

### 3.2 Základní pojmy síťové analýzy

Aby bylo možné začít se síťovou analýzou, je nutné zmínit pár pojmů, které se vážou na jednotlivé metody, které budou následně rozebrány a ukázány na příkladech. Podle Jablonského (2007) a Fialy (2004) lze následující pojmy definovat takto:

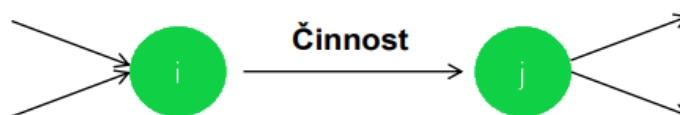
Pojem **kritická cesta** lze definovat tak, že pokud dojde k prodloužení času u některé z činností, dostane se celý projekt do skluzu. Tyto činnosti se nazývají kritické činnosti a cesta, která se skládá z velké části z kritických činností, se nazývá kritická cesta.

**Síťový graf** je základním kamenem síťové analýzy. Síťový graf lze charakterizovat jako nástroj ke stanovení optimální doby splnění dané činnosti a pro grafické znázornění toku jednotlivých činností. Grafy rozdělujeme na:

Hranově ohodnocený síťový graf – v tomto typu grafu hrany reprezentují jednotlivé činnosti a uzly znázorňují zahájení nebo ukončení těchto činností. Ohodnocení hran potom znázorňuje dobu trvání činností.

Uzlově ohodnocený síťový graf – tento typ grafu lze interpretovat obráceně. Uzly reprezentují jednotlivé činnosti, kterým je přiřazeno příslušné ohodnocení, a hrany znázorňují požadovanou návaznost provádění jednotlivých činností

Následující obrázky zobrazují jednotlivé typy grafů. V horní části se nachází hranově ohodnocený síťový graf a ve spodní uzlově ohodnocený síťový graf.



**Obrázek 3:** Hranově ohodnocený síťový graf

Zdroj: (Nováková, 2019)



**Obrázek 4:** Uzlově ohodnocený síťový graf

Zdroj: (Nováková, 2019)

**Sít'** lze charakterizovat jako souvislý graf, který je nezáporně hranově nebo uzlově ohodnocený, je orientovaný a obsahuje dva speciální uzly – vstup a výstup. Uzel, ze kterého hrany pouze vystupují, žádná do něj nevstupuje, se nazývá vstupní uzel. Opakem vstupního uzlu je uzel výstupní. To je takový uzel, do kterého hrany pouze vstupují, žádná hrana z tohoto uzlu již nevystupuje.

Jednou ze základních úloh teorie grafů je nalezení nejkratší cesty v grafu. Nalezení nejkratší cesty v grafu je žádoucí stav, při kterém je nalezeno nejkratší spojení mezi zvolenou dvojicí míst. Při řešení projektů je klíčovým prvkem nalezení nejkratší cesty.

### 3. 3 Podmínky pro vytváření projektů s využitím síťových grafů

Při konkrétní analýze projektu je nutné před vlastním řešením pomocí některé z metod síťové analýzy provést následující kroky. Tyto kroky vychází z Operačního výzkumu od Jablonského (2007):

- Je nutné rozdělit činnosti projektu na dílčí části tak, jak jdou za sebou,
- odhadnout potřebný čas na realizaci jednotlivých činností, dále odhadnout náklady na provedení jednotlivých činností,
- určit návaznost prováděných činností, tzn. stanovit, jaké činnosti musí být ukončeny před zahájením zbylých činností,
- podle informací z předešlých bodů sestrojít síťový graf.

## 4 Metody síťové analýzy

Jde o specifickou skupinu analytických metod. Tyto metody síťové analýzy se používají k časové analýze prováděných činností. Slouží k odhalení kritických činností vedoucích na kritickou cestu. Snaží se odhalit časové nedostatky v provádění činností a tím urychlit celý projekt. Existuje několik druhů metod síťové analýzy. Některé se používají častěji, jiné méně často. Jednotlivé metody budou popsány a nejčastěji používané metody budou vysvětleny na příkladech.

Metody síťové analýzy je možné dělit z vícera hledisek. Zaprvé je to podle typu grafu, který používají, za druhé podle charakteru vstupujících parametrů. Metody CPM, PERT a GERT využívají uzlově definované grafy, kdežto metoda MPM využívá hranově definované síťové grafy. Rozdíl mezi těmito grafy je vysvětlený v kapitole 3.2. Co se týká vstupujících parametrů, tak metody CPM a MPM patří mezi metody deterministické, metody PERT a GERT patří mezi metody stochastické. Deterministické metody mají jasně dané vstupní veličiny, kdežto vstupní veličiny stochastické metody mají náhodný charakter (Šubrt, 2015).

### 4.1 Metoda kritické cesty CPM

*„Metoda CPM (Critical Path Method) slouží ve své základní podobě, v jaké byla navržena koncem 50. let minulého století, k časové analýze provádění činností v rámci daného projektu. Přispívají k odhalení časových rezerv při provádění činností a tím k optimalizaci doby realizace celého projektu. Jedná se o deterministickou metodu, která předpokládá, že doby trvání všech činností jsou pevně dané a neuvažuje možnost jejich změny.“* (Jablonský, 2007, s. 191)

Metoda CPM (Critical Path Method) je nejznámější a patrně nejvyžívanější metoda síťové analýzy. Využívá se při provádění časové analýzy projektu. Tato metoda předpokládá, že údaje o době trvání dílčích činností jsou pevně dané, v úvahu se nebere možnost jejich změny. CPM umožňuje uspořádat činnosti z hlediska času tak, že zajistí efektivní provádění všech činností bez větších časových ztrát (Fiala, 2004), (Šubrt 2015).

Hlavní princip metody CPM spočívá podle Jablonského (2007) v tom, že určuje pro každou činnosti projektu 4 časové charakteristiky:

1. **Nejdříve možný začátek provádění činnosti** – jde o charakteristiku času, vycházející z toho, že činnost nemůže započít dříve, než dojde k ukončení všech činností, které ji předcházejí. Veškeré činnosti, které vycházejí z uzlu  $u_i$ , mají zřejmě totožný nejdříve možný začátek – tato charakteristika se značí jako  $t_i^0$
2. **Nejdříve možný konec provádění činnosti** – jde o součet nejdříve možného začátku a doby trvání činnosti. Činnost, která je znázorněna hranou  $h_{ij}$ , bude nejdříve možný konec dán vztahem  $t_i^0 + y_{ij}$ , kde  $y_{ij}$  je doba trvání této činnosti.
3. **Nejpozději přípustný konec provádění činnosti** – tato charakteristika udává moment, kdy musí nejpozději činnost skončit, aby bylo zabráněno skluzu v provádění následujících činností. Veškeré činnosti, které končí v uzlu  $u_j$ , mají zřejmě stejný nejpozději přípustný konec – toto označíme jako  $t_j^1$ .
4. **Nejpozději přípustný začátek provádění činnosti** – je rozdíl nejpozději přípustného konce a doby trvání této činnosti. Činnost, vyjádřená hranou  $h_{ij}$ , pro ni bude nejpozději přípustný začátek určen vztahem  $t_j^1 - y_{ij}$ .

U metody CPM je nutné vypočítat uvedené čtyři charakteristiky pro všechny činnosti, tento výpočet probíhá ve čtyřech fázích:

**I. fáze** – výpočet nejdříve možných začátků a konců provádění činností.

Nejdříve možný začátek provádění činností začíná v uzlu  $u_j$  a ten je roven maximu z nejdříve možných konců činností, které vstupují do uzlu  $u_j$ .

Vyjádřeno pomocí vzorce:

$$t_j^0 = \max (t_i^1 + y_{ij}) \quad (1)$$

**II. fáze** – výpočet nejpozději přípustných začátků a konců provádění činností

Nejpozději přípustný konec provádění činností končí v uzlu  $u_i$  a ten je roven minimu z nejpozději přípustných začátků činností, které z uzlu  $u_i$  vystupují.

Vyjádřeno pomocí vzorce:

$$t_i^1 = \min(t_j^1 - y_{ij}) \quad (2)$$

### III. fáze – výpočet celkových časových rezerv

Rozdíl nejpozději přípustného konce, nejdříve možného začátku a doby trvání činnosti se nazývá celková časová rezerva.

Vyjádřeno pomocí vzorce:

$$CR_{ij} = t_j^1 - t_i^0 - y_{ij} \quad (3)$$

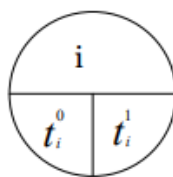
### IV. fáze – rozvrhování realizace činností

Při poslední fázi dochází k rozboru výsledků a rozvržení realizace jednotlivých činností v čase. Jde o to určit činnosti, které mohou probíhat paralelně, a naopak které na sebe musí navazovat.

Všechny předešlé výpočty je možné použít vícero způsoby. Způsoby výpočtu jsou výpočet přímo v grafu, tabulce nebo v matici. Nejznámějšími a nejpoužívanějšími jsou výpočty přímo v grafu a v tabulce. Výpočet v grafu je způsob vhodný hlavně pro ruční zpracování menších sítí. Používá speciální diagram, viz obrázek 5, ve kterém se uzel rozdělí na tři části. Vypočítané hodnoty se potom zapisují do jednotlivých částí.

#### Výpočet v síťovém grafu

Při výpočtu v síťovém grafu je nutné rozdělit každý uzel na tři části. Do horní části uzlu se zapisuje index uzlu. Při výpočtu vpřed se do levé části uzlu zaznamenávají vypočítané hodnoty, konkrétně nejdříve možné začátky činností. Poté výpočet probíhá od koncového uzlu k počátečnímu, jde tedy o výpočet vzad. Zjištěné hodnoty při výpočtu vzad se zaznamenávají do pravé části uzlu, konkrétně se jedná o hodnoty nejpozději přípustných konců činností. Na základě takto vypočítaných hodnot se určí časové rezervy, které se zapíší pod orientovanou hranu. Každý uzel má následující podobu:



Obrázek 5: Uzel při výpočtu metodou CPM v síti

Zdroj: (Jablonský, 2007)

### **Výpočet v tabulce**

Při výpočtu v tabulce jsou jednotlivé hrany rozepsány do sloupce tak, jak jdou postupně za sebou. K těmto hranám je přiřazena doba trvání jednotlivých činností. Výpočet v tabulce u metody CPM se liší od výpočtu v tabulce u metody PERT. U metody CPM je tabulka rozdělena na tři části, každá část představuje jednu fázi výpočtu, jsou počítány nejpozději přípustné konce a začátky, a nejdříve možné konce a začátky. Následně je v posledním sloupci vypočtena celková časová rezerva. U metody PERT je uvažováno s hodnotami optimistického, pesimistického a modálního odhadu a jsou počítané střední hodnoty, směrodatné odchylky a rozptyl.

### 4. 1. 1 Vzorový příklad – metoda CPM

Ve společnosti xyz, má být provedena rekonstrukce staré výrobní haly. Tato rekonstrukce zahrnuje celkovou obnovu střechy, podlah a rekonstrukci elektřiny po celé hale. Celkově by mělo dojít ke zlepšení pracovních podmínek. Projekt byl rozčleněn na dílčí činnosti, jejichž předpokládaná doba trvání v týdnech je uvedena v následující tabulce:

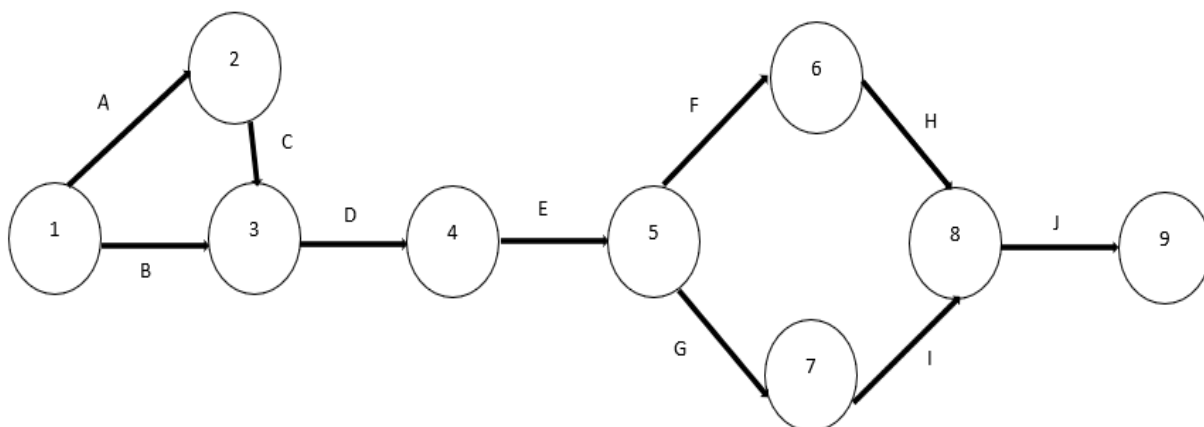
**Tabulka 1:** Činnosti, jejich doba trvání a činnosti, které musí předcházet

Činnost	Popis činnosti	Doba trvání (týdny)	Předchozí činnost
A	Demontáž starého zařízení	8	žádná
B	Oprava staré střechy	6	žádná
C	Výměna podlahy	3	A
D	Další stavební úpravy uvnitř haly	4	B,C
E	Kontrola elektřiky, následná důkladná oprava	10	D
F	Montáž nového vybavení haly	12	E
G	Montáž klimatizace	5	E
H	Zkušební provoz	4	F
I	Dokončení vnitřních úprav	2	G
J	Zápis o dokončení rekonstrukce	1	I

Zdroj: (Vlastní zpracování dle – Klicnarová, 2009)

Na základě rozboru činností z tabulky 1 bylo zjištěno, že oprava střechy a demontování starého zařízení může probíhat zároveň vedle sebe. Výměna podlahy může být provedena až tehdy, pokud bude opravena střecha a zároveň bude demontováno staré zařízení. Drobné stavební práce uvnitř haly mohou být provedeny až po dokončení oprav střechy a výměny podlahy. Následuje důkladná kontrola elektřiny po celé hale, která může být provedena až po vnitřních úpravách. Po opravě elektřiny v celé hale, může dojít k montáži nového vybavení a zároveň k montáži klimatizace. Než dojde k ostrému provozu, je nutné nejprve vyzkoušet, zda všechno funguje tak jak má. Po kontrole následuje dokončení a doladění posledních detailů. Na závěr je vedením společnosti sepsán dokument, ve kterém jsou uvedeny všechny kroky rekonstrukce, je zde zhodnocen celý průběh. V dokumentu jsou rozebrány chyby, ke kterým v průběhu rekonstrukce docházelo, a to z toho důvodu, aby při další rekonstrukci nedocházelo ke stejným chybám. Tento dokument slouží jako pomůcka pro případné další rekonstrukce. Na základě dat z tabulky č. 1 bude sestaven hranově ohodnocený síťový graf.





**Obrázek 6:** Síťový graf pro projekt společnosti xyz

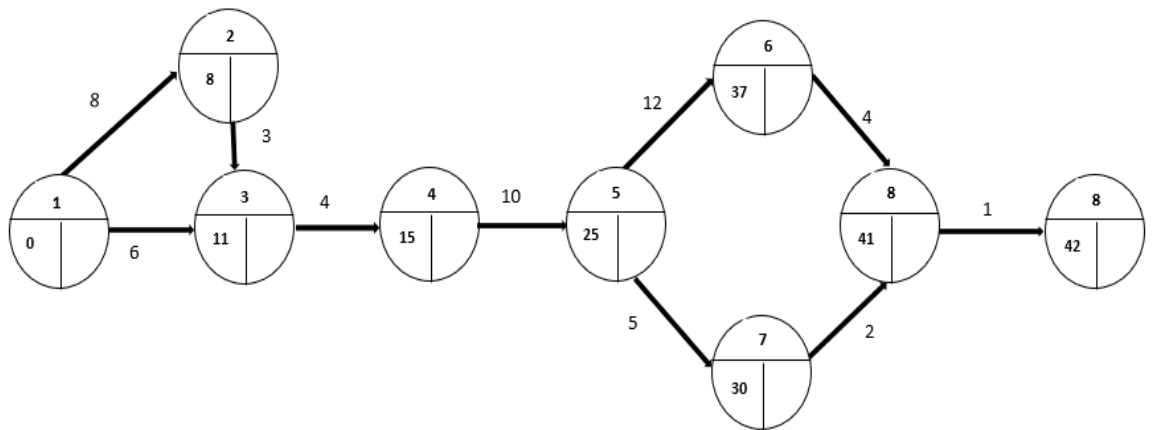
Zdroj: (Vlastní zpracování dle – Klicnarová, 2009)

#### 4. 1. 2 Výpočet v síťovém grafu

Po sestavení síťového grafu lze přistoupit k výpočtu nejdříve možných začátků prováděných činností. Uzel bude rozdělen na tři části, v první fázi výpočtu bude vypočítána hodnota zapisována do levé části uzlu, jak již bylo v předcházející kapitole zmíněno, do horní části uzlu bude zapsán index uzlu. V druhé fázi výpočtu bude probíhat výpočet nejpozději přípustných konců činností, tato hodnota bude vepsána do pravé části uzlu. Ve třetí fázi budou počítány celkové časové rezervy.

##### I. fáze – výpočet nejdříve možných začátků provádění činností v grafu

Tento výpočet je znázorněn na obrázku 7. Za hodnotu  $t_1^0$  je nejprve dosazena 0. Dále je zde znázorněno, že do uzlu  $u_2$  vstupuje pouze jedna hrana  $h_{12}$ , proto  $t_2^0$  je rovno  $t_1^0 + y_{12}$ . Z toho vyjde, že  $0+8 = 8$ . Do uzlu  $u_3$  vstupují dvě hrany, hrana  $h_{23}$  a hrana  $h_{13}$ . Nejdříve možný začátek pro činnosti, které vystupují z tohoto uzlu je proto roven maximu z nejdříve možných konců činností na uvedených dvou hranách, výpočet bude vypadat následovně:  $t_3^0 = \max(t_2^0 + y_{23}, t_1^0 + y_{13}) = \max(8+3, 0+6) = 11$ . Maximální hodnota je rovna 11. Další výpočty probíhají stejným způsobem (Jablonský, 2007).

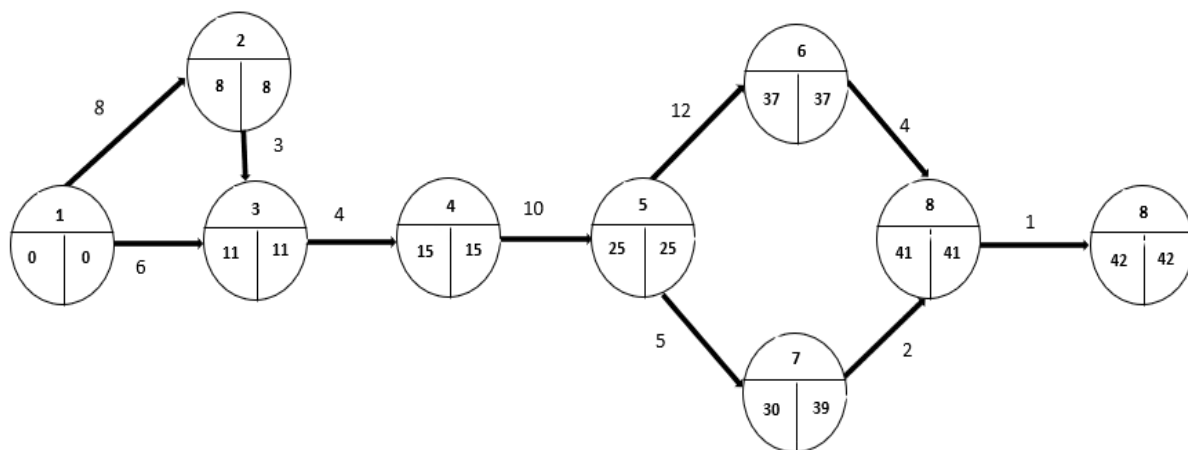


**Obrázek 7:** Výpočet nejdříve možných začátků činností

Zdroj: (Vlastní zpracování dle – Klicnarová, 2009)

## II. fáze – výpočet nejpozději přípustných konců činností

Ve druhé fázi se postupuje opačným směrem, než tomu bylo u první fáze, to znamená od výstupu ke vstupu. Výpočet tedy probíhá od konečného uzlu. Na obrázku 8 je zdokumentovaný výpočet nejpozději přípustných konců činností. Z uzlu  $u_8$  vychází pouze jedna hrana  $h_{89}$  – nejpozději přípustný konec pro činnosti vstupující do uzlu  $u_8$  je tedy  $t_8^1 = t_9^1 - y_{89} = 42 - 1 = 41$ . Z uzlu  $u_7$  a  $u_6$  vychází také pouze jedna hrana, výpočet bude probíhat stejně. Z uzlu  $u_5$  již vyházejí hrany dvě, a to hrany  $h_{56}$  a  $h_{57}$  – nejpozději přípustný konec pro činnosti vstupující do tohoto uzlu se proto vypočte jako minimum z nejpozději přípustných začátků činností reprezentovaných těmito hranami, to znamená  $t_5^1 = \min(t_6^1 - y_{56}, t_7^1 - h_{57}) = \min(37 - 12, 30 - 5) = 25$ . Další výpočet probíhá stejným způsobem až ke vstupnímu uzlu sítě, kde vychází  $t_1^1 = 0$  (Jablonský, 2007).



Obrázek 8: Výpočet nejpozději přípustných konců

Zdroj: (Vlastní zpracování dle – Klicnarová, 2009)

### III. fáze – výpočet celkové časové rezervy

Celková časová rezerva udává, o kolik jednotek je možné prodloužit dobu trvání činnosti, nebo o kolik je možné oddálit její nejdříve možný začátek, aniž by došlo ke změně termínu ukončení celého projektu. Výpočet celkové časové rezervy probíhá podle výše uvedeného vztahu (III. fáze). Například rezerva pro činnosti na hraně  $h_{13}$  se rovná  $CR_{13} = t_3^1 - t_1^0 - y_{13} = 10 - 0 - 6 = 4$ . Vypočtené celkové časové rezervy budou uvedeny v tabulce 2 (Jablonský, 2007).

#### 4. 1. 3 Metoda CPM – výpočet v tabulce

Výpočet metodou CPM zpracované nikoli v síťovém grafu, ale zpracované v tabulce, je podobné výpočtu v síťovém grafu. Od sebe se liší pouze po formální stránce. V tabulce jsou zaznamenány v jednotlivých řádcích indexy počátečního a koncového uzlu hrany reprezentující danou činnost, doba trvání, všechny čtyři časové charakteristiky, které jsou odvozovány postupně v průběhu výpočtu a celková časová rezerva.

Celková časová rezerva se vypočítá jako rozdíl mezi nejpozději přípustným koncem, nejdříve možným začátkem a dobou trvání činnosti. Na základě tohoto výpočtu zjistíme, které činnosti jsou kritické. Kritické činnosti jsou ty činnosti, při kterých celková časová rezerva je rovna nule. V následující tabulce jsou takové činnosti zvýrazněny (Jablonský, 2007).

**Tabulka 2:** Metoda CPM-tabulkový výpočet

činnost	doba trvání	I. Fáze		II. Fáze		III. Fáze Celková časová rezerva
		nejdříve možný		nejpozději přípustný		
		začátek	konec	konec	začátek	
$h_{ij}$	$y_{ij}$	$t_i^0$	$t_i^0 + y_{ij}$	$t_j^1$	$t_j^1 - y_{ij}$	$CR_{ij}$
$h_{12}$	8	0	8	8	0	<b>0</b>
$h_{13}$	6	0	6	11	5	5
$h_{23}$	3	8	11	11	8	<b>0</b>
$h_{34}$	4	11	15	15	11	<b>0</b>
$h_{45}$	10	15	25	25	15	<b>0</b>
$h_{56}$	12	25	37	37	25	1
$h_{57}$	5	25	30	39	34	9
$h_{68}$	4	37	41	41	35	<b>0</b>
$h_{78}$	2	30	32	41	39	9
$h_{89}$	1	41	42	42	41	<b>0</b>

Zdroj: (Vlastní zpracování dle – Klicnarová, 2009)

Kritická cesta je v tomto příkladu tvořena posloupností hran  $h_{12}$ -> $h_{23}$ -> $h_{34}$ -> $h_{45}$ -> $h_{68}$ -> $h_{89}$ . Jde tedy o činnosti s celkovou časovou rezervou nula. Těmto činnostem by měla být věnována zvýšená pozornost.

#### **IV. fáze** – rozvrhování realizace činností

Velmi důležitou fází je fáze rozvrhování a realizace činností. V této fázi je důležité určit, které činnosti mohou probíhat nezávisle na jednotlivých činnostech a naopak, které činnosti na sebe musí navazovat (Jablonský, 2007).

## 4.2 Metoda PERT

Rok po návržení metody CPM, roku 1958 v USA, byla navržena nová metoda PERT, která slouží jako rozšíření metody CPM. Za autory metody PERT jsou považováni D. G. Malcom, J.H. Roseboom, C. E. Clark a W. Fazar. Tato metoda byla poprvé zkušebně aplikována v oblasti vývoje rakety Polaris. V literatuře je uváděno, že díky metodě PERT, byl program vývoje rakety proti původním odhadům zkrácen o dva roky (Klusoň, 1973).

Podle Jablonského (2007) Metoda CPM předpokládá, že pracovník, který je zodpovědný za celý projekt, je schopen už v jeho začátcích stanovit pevnou dobu trvání jednotlivých činností. Toto tvrzení však v praxi ve většině případů nelze splnit. Doba trvání každé činnosti, vyjádřená obecně hranou  $h_{ij}$ , je v metodě PERT náhodná veličina, která je definována na intervalu  $\langle a_{ij}, b_{ij} \rangle$ , kde  $a_{ij}$  je očekávána nejkratší možná doba realizace této činnosti a obráceně  $b_{ij}$  je uvažovaná nejdelší doba provedení činnosti. Uvnitř uvedeného intervalu se nachází skutečná délka, metoda PERT dále předpokládá, že lze pro činnosti stanovit nejpravděpodobnější dobu trvání  $m_{ij}$ . Projektový manažer při přípravě projektu metodou PERT pro každou činnost formuluje tři časové charakteristiky:

- $a_{ij}$  – **optimistický odhad** stanovuje nejkratší očekávaný čas činnosti
- $b_{ij}$  – **pesimistický odhad** označuje nejdelší možný čas trvání činnosti
- $m_{ij}$  – **modální odhad** stanovuje nejpravděpodobnější dobu realizace činnosti

V případě stanovení těchto odhadů, je dále možné odvodit pro náhodnou veličinu doby trvání činnosti  $t_{ij}$  její střední dobu trvání, směrodatnou odchylku a rozptyl.

Střední doba trvání

$$\overline{t_{ij}} = \frac{a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}}{6} \quad (4)$$

Směrodatná odchylka

$$\sigma_{ij} = \left[ \frac{b_{ij} - a_{ij}}{6} \right] \quad (5)$$

Rozptyl

$$\sigma_{ij}^2 = \left[ \frac{b_{ij} - a_{ij}}{6} \right]^2 \quad (6)$$

Při výpočtu kritické cesty je výsledkem výpočtu kritická cesta, jejíž ohodnocení je označeno písmenem M. Jedná se o součet středních dob trvání kritických činností. Tato hodnota udává střední dobu trvání celého projektu. Na základě výše uvedených vzorců lze zjistit skutečnou dobu trvání celého projektu. „*Skutečná doba trvání celého projektu je, podobně jako doby trvání jeho jednotlivých činností, spojitá náhodná veličina, jejíž střední hodnota je M*“ (Jablonský, 2007, s. 200). Rozptyl celého projektu lze vypočítat jako součet rozptylů všech kritických činností. Směrodatná odchylka celého projektu je následně počítána jako odmocnina z rozptylu (Jablonský, 2007).

Jablonský (2007) dále uvádí vzorce, podle kterých lze snadno odhadnout, s jakou pravděpodobností, bude projekt ukončen v daném čase anebo v jakém čase bude projekt ukončen se stanovenou pravděpodobností.

Vzorec pro výpočet pravděpodobnosti, že projekt bude ukončen v daném čase:

$$z = \frac{T_s - M}{\sigma_{KC}} \quad (7)$$

Vzorec pro výpočet času se stanovenou pravděpodobností:

$$T_s = M + z_p \sigma_{KC} \quad (8)$$

### 4. 2. 1 Vzorový příklad – metoda PERT

Uvažujeme projekt, jehož činnosti jsou popsány v tabulce 1. Aby bylo možné provést výpočet pomocí metody PERT, je nejprve nutné uvést vstupní data pro tuto metodu. V následující tabulce jsou uvedeny pro jednotlivé činnosti pesimistické, modální a optimistické odhady dob trvání činností. Výpočty středních dob a směrodatných odchylek jsou provedeny na základě vzorců (5), (6), (7) uvedených výše.

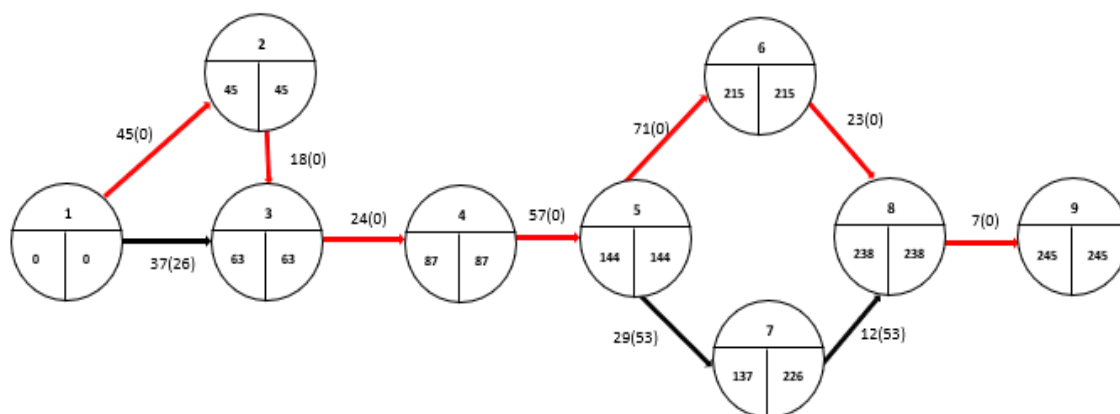
**Tabulka 3:** Vstupní data pro metodu PERT

činnost (hrana)	odhad doby trvání			střední doba	směrod. odch.	rozptyl
	optimist.	modální	pesimist.			
$h_{ij}$	$a_{ij}$	$m_{ij}$	$b_{ij}$	$\mu_{ij}$	$\sigma_{ij}$	$\sigma^2_{ij}$
$h_{12}$	4	8	9	45/6	5/6	25/36
$h_{13}$	5	6	8	37/6	3/6	9/36
$h_{23}$	2	3	4	18/6	2/6	4/36
$h_{34}$	2	4	6	24/6	4/6	16/36
$h_{45}$	5	10	12	57/6	7/6	49/36
$h_{56}$	10	12	13	71/6	3/6	9/36
$h_{57}$	3	5	6	29/6	3/6	9/36
$h_{68}$	2	4	5	23/6	3/6	9/36
$h_{78}$	1	2	3	12/6	2/6	4/36
$h_{89}$	1	1	2	7/6	1/6	1/36

Zdroj: (Vlastní zpracování dle – Jablonský, 2007)

Výpočet kritické cesty pomocí metodou PERT je ve své podstatě totožný s výpočtem kritické cesty metodou CPM. Rozdíl u této metody je v tom, že na místo pevně daných hodnot  $y_{ij}$  se zde pracuje se středními hodnotami dob trvání činností  $\mu_{ij}$ . Kritická cesta je tedy součet středních dob trvání kritických činností.

Výpočet je znázorněn na obrázku 9. Je zřejmé, že výpočet probíhá zcela stejně jako u CPM, jen je zde uvažováno s jinými hodnotami. Výpočet nejdříve možných začátků prováděných činností – za hodnotu  $t_1^0$  je dosazena 0. Do uzlu  $u_2$  vstupuje pouze jedna hrana  $h_{12}$ , výpočet bude tedy probíhat následovně:  $t_2^0 = t_1^0 + \mu_{12} = 0+45=45$ . Uzel  $u_3$  se odlišuje počtem vstupujících hran, do uzlu  $u_3$  vstupují hrany  $h_{23}$  a  $h_{13}$ . Výpočet bude probíhat následovně:  $t_3^0 = \max(t_2^0 + \mu_{23}, t_1^0 + \mu_{13}) = (45+18, 0+37) = 63$ . Postupně výpočet probíhá až do určení hodnoty  $t_9^0$ . Výpočet nejpozději přípustných konců provádění činností probíhá jako u metody CPM od výstupu ke vstupu. Výsledné hodnoty jsou znázorněny v následujícím grafu (Jablonský, 2007).



**Obrázek 9:** Výpočet kritické cesty – metoda PERT

Zdroj: (Vlastní zpracování dle – Klicnarová, 2009)

Kritická cesta prochází uzly a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9. Tato cesta je na obrázku vyznačena červenou barvou. Hodnota střední doby trvání celého projektu je rovna součtu všech středních dob trvání kritických činností, tedy činností s celkovou časovou rezervou nula. Výpočet střední doby trvání celého projektu je tedy:

$$M = 45/6 + 18/6 + 24/6 + 57/6 + 71/6 + 23/6 + 7/6 = 40,83 \text{ týdne}$$

Rozptyl doby trvání celého projektu je potom součet rozptylů všech kritických činností. Čím vyšší je hodnota rozptylu, tím více se může skutečná hodnota doby trvání činnosti lišit od vypočítané střední hodnoty.

$$\sigma = 25/36 + 4/36 + 16/36 + 49/36 + 9/36 + 9/36 + 1/36 = 3,138$$

Směrodatná odchylka je rovna odmocnině z rozptylu, tedy  $\sqrt{3,138} = 1,77144009$



## 5 Další metody

Síťová analýza zahrnuje kromě metod CPM a PERT další dvě metody. Těmito metodami jsou metoda GERT a MPM. Tyto metody, které budou okrajově popsány níže, nejsou ve většině případů příliš oblíbené, protože mají složitý výpočet a strukturu.

### 5.1 Metoda GERT

Metody PERT a CPM mají omezené možnosti, které zakazují modelování mnoha složitých forem projektových sítí. Flexibilnějším síťovým nástrojem, kterému byla v poslední době věnována zvýšená pozornost, je metoda GERT (grafická vyhodnocovací a kontrolní technika). Metoda GERT je postup, při kterém je prováděn (pomocí grafického přístupu) popis a analýza systému, který je zkoumán. V této metodě se používají tzv. zobecněné síťové grafy (Fiala, 2004).

#### Zobecněný síťový graf

Jde o graf sestavený z rozhodovacích uzlů a orientovaných hran. Každá hrana představuje činnost a jednotlivé uzly představují události. Zobecněný síťový graf má stochastickou strukturu. Každá hrana  $(i, j)$  má přiřazenou podmíněnou pravděpodobnost  $p_{ij}$ . Pokud dojde k realizaci uzlu, ze kterého tato hrana vystupuje, dojde k realizaci hrany. Dále může mít každá hrana přiřazenou dobu trvání určité činnosti  $t_{ij}$  nebo také náklady na činnosti  $c_{ij}$ . Množina následníků uzlu  $j$  je značena  $N(j)$  a množina předchůdců  $P(j)$ . Podle těchto údajů lze provádět pravděpodobnostní, nákladovou nebo časovou analýzu.

U uzlů lze rozlišit vstupní a výstupní část uzlů. Vstupní část může být disjunktivní, konjunktivní a inkluzivní a výstupní část může být stochastická nebo deterministická. Kombinace vstupních a výstupních částí označuje 6 rozhodovacích uzlů. Názvy a označení těchto uzlů jsou uvedeny na následujícím obrázku (Fiala, 2004).

	Výstup	Deterministický	Stochastický
Vstup			
Konjunktivní		Konjunktivně - deterministický 	Konjunktivně - stochastický 
Disjunktivní		Disjunktivně - deterministický 	Disjunktivně - stochastický 
Inkluzivní		Inkluzivně - deterministický 	Inkluzivně - stochastický 

Obrázek 10: Rozhodovací uzly

Zdroj: (Vlastní zpracování dle – Fiala, 2004)

Uzel je realizován právě tehdy, když dochází k realizaci všech činností do uzlu vstupujících. Toto lze považovat za definici **konjunktivního vstupu**. Při **disjunktivním vstupu** je uzel realizován tehdy, když je realizována právě jedna činnost do uzlu vstupující. **Inkluzivní vstup** je charakteristický tím, že k realizaci uzlu dochází tehdy, pokud je realizována alespoň jedna činnost do uzlu vstupující.

Výstupní části uzlu jsou deterministický výstup a stochastický výstup. Při **deterministickém výstupu** realizace uzlu vyvolá realizaci všech činností z uzlu vystupujících. Stochastický výstup při realizaci uzlu vyvolá realizaci právě jedné z činností z uzlu vystupujících.

V metodě CPM jsou využívány hranově definované síťové grafy. Ty používají pouze jeden typ uzlu – tedy konjunktivně deterministický. Zobecněné síťové grafy využívají šest druhů uzlů, které jsou znázorněny výše na obrázku 10, a navíc také činnostem přiřazují podmíněné pravděpodobnosti jejich realizace. To je považováno za hlavní rozdíl mezi CPM a GERT metodou (Fiala, 2004).

## 5.2 Metoda MPM

Metoda MPM (Metra Potential Method) se liší od metod CPM, PERT a GERT tím, že metodu MPM netvoří hranově definované síťové grafy, ale MPM je založena na uzlově definovaných síťových grafech. Činnosti jsou v tomto případě vyjádřené uzly a hrany znázorňují vztahy mezi činnostmi, respektive časovou návaznost činností.

Tato metoda pro řízení projektů byla v roce 1958 vynalezena francouzským vědcem Bernardem Royem. Poprvé byla použita pro továrnu klikových hřídelí s názvem Mavilor. Poté byla použita při konstrukci výstavby výletní lodi ve Francii. Podílela se také na výstavbě prvních jaderných elektráren ve Francii. Tato metoda se využívá k popisu, organizaci a plánování úkolů, které představují vývoj projektu. MPM se používá k určení minimální doby potřebné k provedení projektu. Tato metoda navíc umožňuje definovat data, ke kterým mohou nebo musí začít různé úkoly spojené s projektem, aby bylo zajištěno dodržování minimálního času (Moine, 2008).

## **6 Praktická část**

Tato část bakalářské práce se bude zabývat aplikací vybraných metod síťové analýzy na firmu SERVISBAL OBALY, s. r. o. Konkrétně jsem si vybrala metody CPM a PERT, a to z toho důvodu, že se v praxi používají nejčastěji a jsou mezi podnikateli nejoblíbenějšími.

### **6.1 O společnosti – SERVISBAL OBALY, s. r. o.**

Společnost SERVISBAL OBALY, s. r. o. byla založena roku 1993 v Dobrušce. Jedná se o rodinnou firmu, která se soustředí na výrobu a obchod s obaly převážně z vlnité lepenky. Na trhu působí více jak 25 let. Společnost poskytuje služby jako například návrh nového obalu, odzkoušení obalu a také skladování a dopravu přímo k zákazníkovi. Na webových stránkách Eobaly.cz nabízí obaly ze standardního materiálu a obalové materiály v dodacím režimu do 24 hodin.

Ve funkci výkonného ředitele společnosti působí Ing. Lukáš Jiří Horčíčka, zakladatelem a majitelem je Ing. Ladislav Horčíčka.

Poskytování bezchybného, excelentního servisu pro balení spolu s vizí tvořit obaly pro budoucnost, to vše se skrývá pod názvem SERVISBAL OBALY, s. r. o. Ve společnosti je zaveden systém řízení jakosti ISO 9001 a ISO 14001, a to v celém procesu řízení a výroby.

Společnost se zúčastnila několika profesních soutěží, na kterých obdržela celou řadu ocenění. Mezi nejprestižnější patří ocenění Hospodářských novin Vodafone Firma roku 2008 a ocenění z mezinárodní soutěže World Star For Packaging, které v roce 2016 získala společnost již po sedmé (SERVISBAL OBALY, 2020).

### **6.2 Výroba a produkty**

Tento podnik k výrobě produktů využívá převážně vlnitou lepenku. Vlnitá lepenka je materiál, který se skládá z vlnité papírové vrstvy a jedné nebo více hladkých vrstev papíru. Tento materiál se ve vysoké míře využívá právě při výrobě kartonových krabic a různých přepravních obalů. SERVISBAL OBALY, s. r. o. vyrábí obaly přímo na míru a přání zákazníků. Výrobky společnosti se vyznačují vysokou kvalitou a spolehlivostí. Produkty společnosti lze rozdělit do několika skupin:

## **Fixační systémy**

Společnost dodává na trh fixační mřížky, které slouží k oddělení produktů tak, aby nedocházelo k jejich poškození. Mřížky zpevní produkt a utlumí případný náraz. Výroba těchto mřížek je prováděna za pomoci výsekových nástrojů. Příslušný zaměstnanec vkládá karton požadované kvality do nástroje, který pomocí speciální formy vysekává mřížky požadované velikosti a tvaru. Následně jsou mřížky ručně vylupovány a kompletovány. Firma dále poskytuje proložky řešené na míru a přání zákazníka. Proložky se vkládají mezi zboží na paletu, aby byla zpevněná celá paletová jednotka a nedocházelo k posuvům zboží na paletě.

## **Výroba kartonáže**

Jednou z předností této firmy je výroba obalů na míru díky tvarovému vysekávání. Díky tvarovému vysekávání je společnost schopna vyrobit celou řadu různých obalů, konkrétně například různé expediční krabice, krabice na potraviny, krabice na víno a jiné lihoviny, obaly na dárkové předměty atd. Tyto obaly je možné nechat si potisknout firemním logem. Toho společnost dosahuje díky tiskovým nástrojům. Dále se společnost soustředí na výrobu papírových cívek, které slouží jako náhrada za normální dřevěné či plastové cívky. Jejich obrovskou výhodou je 100% recyklovatelnost a nižší pořizovací náklady.

## **Standardní obalové materiály**

Standardní obalové materiály společnosti jsou běžně dostupné na e-shopu. Jedná se o krabice, přepravní boxy a víka, poštovní a zásilkové obaly, sáčky, pytle, stretch folie atd. Tyto materiály společnost nevyrábí, ale nakupuje a dále poskytuje svým zákazníkům (SERVISBAL OBALY, 2020).

## **7 Zajištění modulární pobočky pro zákazníka**

Firma SERVISBAL OBALY, s. r. o. se rozhodla pro zajištění modulární pobočky v místě zákazníka, který bude mít o danou pobočku zájem. Pobočka bude mít podobu lodního kontejneru. Velkou výhodou tohoto projektu je možnost podniku rychle reagovat, to znamená, v případě potřeby přemístit danou pobočku jinam. Modulární pobočka bude sloužit jako samostatný skladový modul. V pobočce nebude obsluhu provádět zaměstnanec, nýbrž samotný zákazník. Důvodem tohoto projektu byla především potřeba firmy rychleji reagovat na požadavky zákazníka. Dalšími důvody byly nedostatečné prostory pro skladování výrobků v prostorách firmy. Pobočka má za cíl urychlit proces přemístování výrobků k zákazníkovi a tím zvýšit tržby a celkovou ziskovost podniku. Projekt modulární pobočky bude strategicky rozvíjet myšlenku excelentního servisu přímo u zákazníka a užší integraci do jeho procesů balení. Společnost by tento projekt chtěla uskutečnit do roku 2023.

Aby mohla být provedena časová analýza projektu firmy SERVISBAL OBALY, s. r. o., bylo třeba nejprve sestavit úplný seznam všech činností, ze kterých se projekt skládá. Díky ochotné spolupráci ředitele společnosti Ing. Lukáše Jiřího Horčíčky, bylo možné získat materiály pro sestavení seznamu všech činností. Veškeré činnosti a jejich doba trvání jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tabulka 4:** Činnosti, jejich doba trvání a činnosti, které musí předcházet

Činnost	Popis činnosti	Doba trvání(týdny)	Předchozí činnost
A	Stanovení vize	8	žádná
B	Průzkum trhu	2	A
C	Vizualizace	3	B
D	Definování vybavení	1	B,C
E	Stanovení nákladů, vyhodnocení návratnosti	2	C,D
F	Vyhledání zákazníků	2	E
G	Sestavení cenové nabídky	3	E
H	Pronájem zpevněného prostoru pro umístění kontejneru	1	F,G
I	Zajištění dodavatelů kontejnerů	2	H
J	Zajištění vybavení kontejnerů, jak pro potřeby osob tak pro výrobu	3	I
K	Zajištění prostor pro výrobní materiál	2	H
L	Zajištění likvidace odpadu v místě výroby	1	K
M	Sjednání přepravy výrobků a pojištění	1	I
N	Závěrečná zpráva	1	M,J
O	Vyhodnocení projektu	2	N

Zdroj: (Vlastní zpracování)

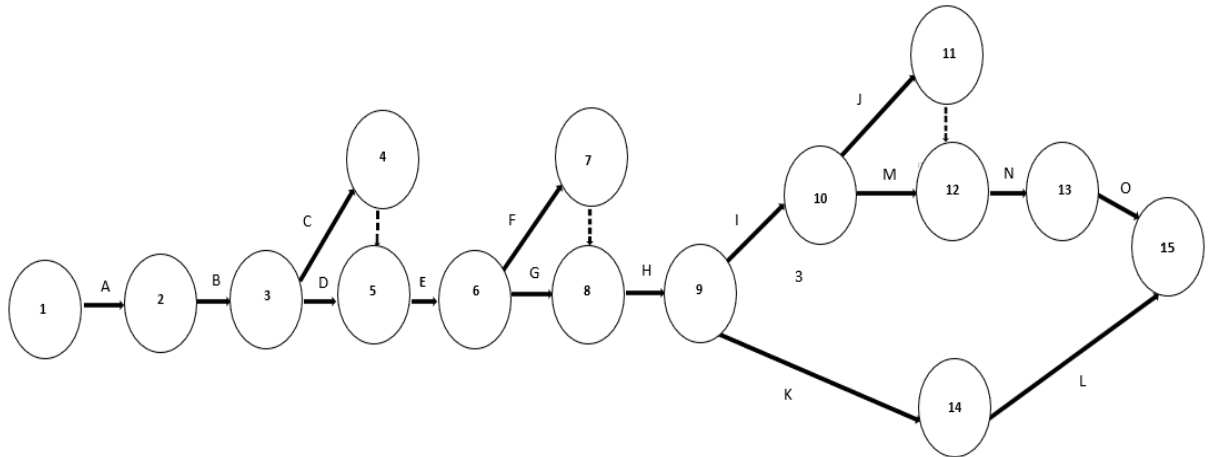
Na začátku každého projektu je nutné stanovit vizi. Stanovení vize zabere na celém projektu nejvíce času. Jde v podstatě o stanovení bodu, kterého by společnost ráda dosáhla. Druhým krokem je prozkoumat stávající trh. Je dobré vědět, co zákazník požaduje, jaké má potřeby. Je nutné zjistit, zda se na trhu nabízí podobná služba, případně v jaké míře. Po vyhodnocení, zda projekt bude mít možnost uspět, je žádoucí celou myšlenku vizualizovat. Dále by mělo následovat hrubé stanovení nákladů na celý projekt. To lze provést až po stanovení vize, průzkumu trhu a samotné vizualizaci. Vyčíslení projektu umožní zjistit, zda je možné očekávat návratnost či nikoli. Pokud je projekt vyhodnocen kladně, začíná podnik vyhledávat potenciální zákazníky. S tím souvisí sestavení cenové nabídky. Cenovou nabídku musí podnik vytvořit tak, aby byla pro zákazníka zajímavá, zároveň musí pokrýt veškeré náklady na realizaci projektu.

Poté, co zákazník akceptuje cenovou nabídku a veškeré podmínky, společnost vyhledá prostor k pronájmu, kam by mohla být modulární pobočka umístěna. Je důležité, aby byl daný prostor zpevněný, aby nedocházelo k posuvům. Po sepsání smlouvy o pronájmu prostoru, začíná podnik vyhledávat dodavatele kontejnerů. Kontejnery by měly být prostorné, aby bylo možné dovnitř umístit palety s výrobky, výrobní zařízení a také sociální zázemí pro zaměstnance v případě, že se bude jednat o modulární pobočku, ve které bude probíhat výroba. Pokud bude pobočka sloužit pouze jako sklad hotových výrobků, není nutné počítat se sociálním a výrobním zařízením. Jestliže bude modulární pobočka sloužit i jako místo pro výrobu, je nutné zajistit sklad pro výrobní materiál a také zajistit likvidaci odpadního materiálu přímo v místě modulární pobočky. Dále je důležité zajistit dodavatele kamerového a zabezpečovacího systému. Kamery budou sloužit jednak na ochranu pro případ nedovoleného vniknutí, ale také pro kontrolu, zda je uvnitř stále dostatek výrobků, aby případně podnik mohl rychle reagovat a pobočku předzásobit. Co se týká zabezpečovacího systému, na vstupní dveře je nutné nechat instalovat zařízení, které bude do prostoru pouštět pouze osoby, s příslušným čipem. Toto zařízení bude samo kontrolovat množství, které zákazník odebere. Zařízení bude propojeno s hlavní pobočkou SERVISBALU, takže v případě, že zákazník odebere zboží, bude ze zařízení automaticky odeslána zpráva o odběru. Na základě bude automaticky vygenerována faktura a automaticky bude zaslána zákazníkovi k zaplacení.

Na závěr celého projektu je dobré sepsat závěrečnou zprávu a hotový projekt vyhodnotit, aby při realizaci dalších projektů nedocházelo ke stejným chybám. Na základě informací obsažených v tabulce 4 je možné přistoupit k sestavení síťového grafu.

## 7.1 Sestavení hranově ohodnoceného síťového grafu

Síťový graf je sestavován od počátečního uzlu  $u_1$  až ke koncovému uzlu  $u_{14}$ . Při sestavování síťového grafu jsou dodržována pravidla popsána v kapitole 2.3 a závislosti v tabulce 4.



Obrázek 11: Síťový graf pro projekt SERVISBAL OBALY

Zdroj: (Vlastní zpracování)

Aby bylo dodrženo pravidlo, že každá dílčí činnost musí mít právě jeden počáteční, a právě jeden koncový uzel, muselo být použito fiktivních hran (4, 5), (7, 8) a (11, 12). Tyto hrany jsou v grafu zobrazeny přerušovanou čarou. Tyto fiktivní hrany reprezentují fiktivní činnosti. Tyto činnosti pouze zprostředkovávají návaznost mezi reálnými činnostmi. Nemají zásadní vliv na dobu trvání projektu, protože doba trvání fiktivních činností je vždy nulová.

## 7.2 Výpočet kritické cesty v síťovém grafu – metoda CPM

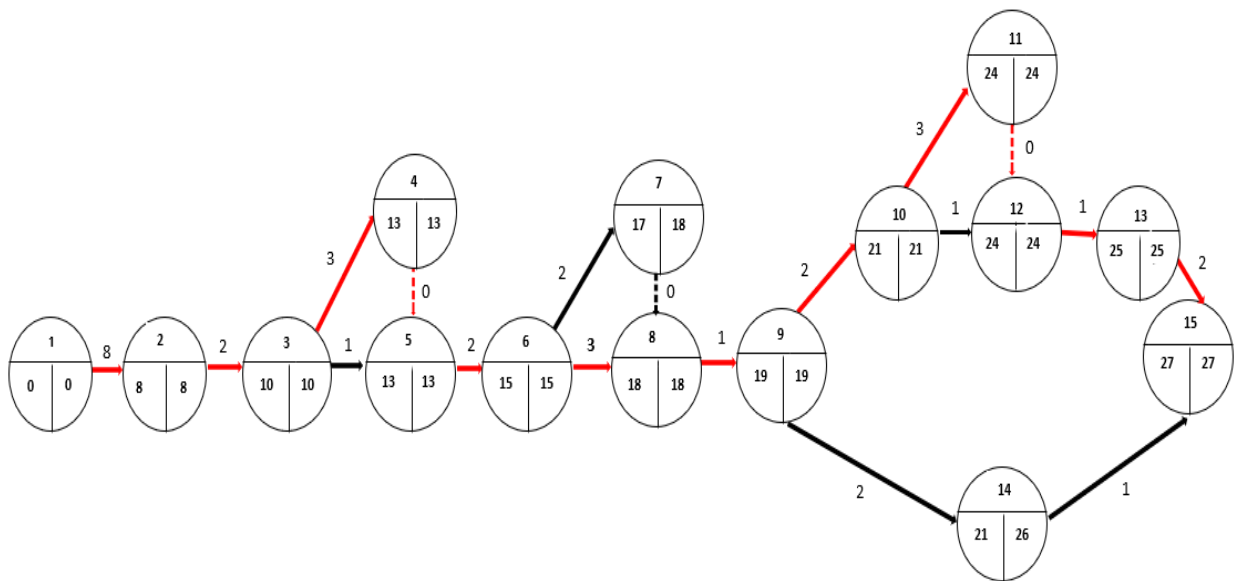
Při výpočtu kritické cesty byly použity vzorce z kapitoly 4.1, tedy vzorce (1), (2) a (3). V síťovém grafu jsou nejprve vypočteny nejdříve možné začátky a nejpozději přípustné konce. Výpočet těchto hodnot je pro výpočet kritické cesty klíčový. Uzel je v síťovém grafu rozdělen na tři části, v horní části uzlu je zapsán index. Dolní část uzlu je rozdělena na dvě části, v pravé části jsou uvedeny nejpozději přípustné konce činností a na levé straně jsou uvedeny nejdříve možné začátky činností. Při výpočtu nejdříve možných začátků činností se postupuje od počátečního uzlu ke koncovému. Do prvního uzlu je dosazena nula, v druhém uzlu výpočet probíhá podle metodiky a vzorců uvedených v kapitole 4. 1.



Takto postupujeme až do výpočtu koncového uzlu, kde nejdříve možný začátek je roven hodnotě 27 týdnů. Hodnota, která byla vypočtena, představuje nejkratší možnou dobu, za kterou je projekt možné ukončit. Známe tedy nejkratší možnou dobu trvání projektu.

Ve druhé fázi výpočtu jsou zjišťovány nejpozději přípustné konce činností. Při výpočtu se bude postupovat od výstupu ke vstupu. Koncový uzel bude jak v pravé, tak v levé části označen hodnotou 27, jde tedy o vypočtenou dobu trvání projektu. Dále se pokračuje k uzlu 13, kde bude proveden výpočet nejpozději přípustného konce podle vzorce, který je uveden v kapitole 4.1 výše. Dále pokračujeme stejně, dokud nedostaneme hodnotu počátečního uzlu.

Činnosti, u kterých je celková časová rezerva rovna nule, se nazývají kritické činnosti. Cesta, která je tvořena těmito činnostmi se nazývá kritická cesta. Časová rezerva se vypočítá jako rozdíl mezi nejpozději přípustným koncem, nejdříve možným začátkem a dobou trvání dané činnosti. Kritická cesta je v následujícím grafu vyznačena červenou barvou. Číselné hodnoty časových rezerv z důvodu větší přehlednosti nejsou v grafu uvedeny, budou uvedeny v tabulce.



**Obrázek 12:** Kritická cesta v projektu SERVISBAL OBALY

Zdroj: (Vlastní zpracování)

### 7.3 Výpočet kritické cesty v tabulce – metoda CPM

Při výpočtu hodnot v tabulce byly použity vzorce z kapitoly 4.1. Hodnoty, se kterými se v tabulce uvažuje jsou uvedeny v týdnech.

**Tabulka 5:** Výpočet kritických činností v tabulce

činnost	doba trvání	I. Fáze		II. Fáze		Celková časová rezerva
		nejdříve možný		nejpozději přípustný		
		začátek	konec	konec	začátek	
$h_{ij}$	$y_{ij}$	$t_1^0$	$t_i^0 + y_{ij}$	$t_j^1$	$t_j^1 - y_{ij}$	$CR_{ij}$
$h_{12}$	8	0	8	8	0	<b>0</b>
$h_{23}$	2	8	10	10	8	<b>0</b>
$h_{34}$	3	10	13	13	10	<b>0</b>
$h_{35}$	1	10	11	13	12	2
$h_{45}$	0	13	13	13	13	<b>0</b>
$h_{56}$	2	13	15	15	13	<b>0</b>
$h_{67}$	2	15	17	18	16	1
$h_{68}$	3	15	18	18	15	<b>0</b>
$h_{78}$	0	17	17	18	18	<b>1</b>
$h_{89}$	1	18	19	19	18	<b>0</b>
$h_{910}$	2	19	21	21	19	<b>0</b>
$h_{914}$	2	19	21	26	24	5
$h_{1011}$	3	21	24	24	21	<b>0</b>
$h_{1012}$	1	21	22	24	23	2
$h_{1112}$	0	24	24	24	24	<b>0</b>
$h_{1213}$	1	24	25	25	24	<b>0</b>
$h_{1315}$	2	25	27	27	25	<b>0</b>
$h_{1415}$	1	21	22	27	26	<b>5</b>

Zdroj: (Vlastní zpracování dle – Jablonský, 2007)

V tabulce 5 lze vidět kritické činnosti. Na první pohled je zřejmé, o které činnosti se jedná, jsou to takové činnosti, u nichž je celková časová rezerva rovna nule. Celkový počet kritických činností je 12. Nejdělsí cesta od počátečního do koncového uzlu je 27 týdnů. Tato hodnota nám tedy udává nejkratší možnou dobu, za kterou je možné projekt dokončit. Význam kritické cesty nespočívá pouze v tom, že určuje dobu realizace projektu, ale zároveň identifikuje kritické činnosti, to znamená činnosti, u kterých prodloužení doby trvání způsobí prodloužení celkové doby realizace projektu. Proto je důležité takovým činnostem věnovat zvýšenou pozornost.

## 7.4 Výpočet kritické cesty – metoda PERT

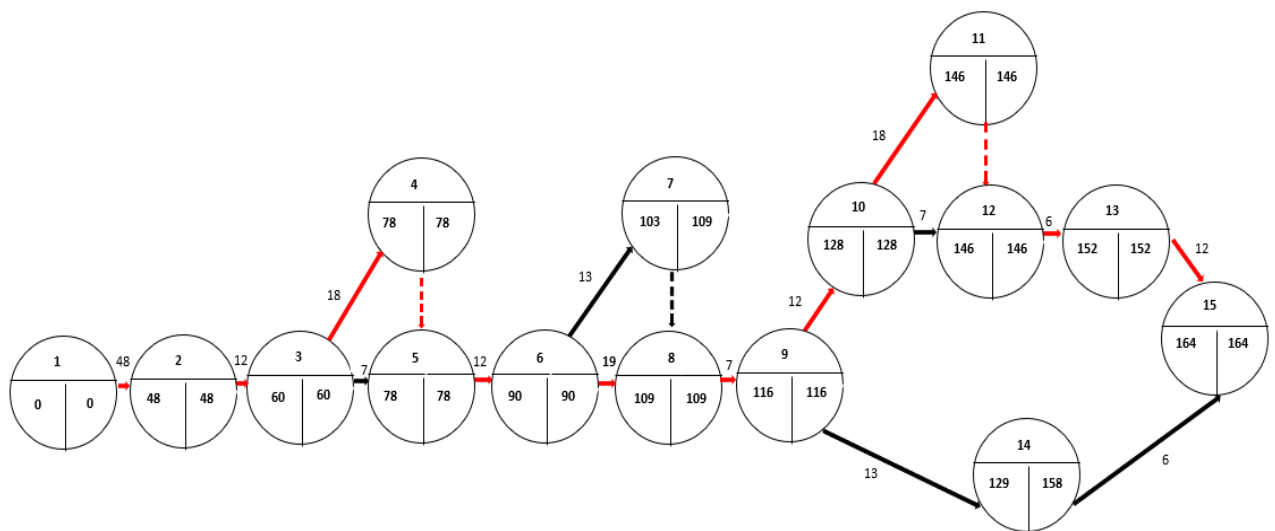
Výpočet metodou PERT vychází ze stejné tabulky činností projektu SERVISBAL OBALY, s. r. o. jako u metody CPM. Aby bylo možné zjistit kritické činnosti a odhalit tak kritickou cestu, je důležité na začátek stanovit u všech činností projektu modální, optimistický a pesimistický odhad doby trvání. Jak popisuje kapitola 4.2, optimistický odhad je stanovení nejkratší doby, za kterou by daná činnost mohla být provedena, pesimistický odhad je naopak nejdelší doba realizace činnosti. Pokud jsou stanoveny tyto odhady, následuje výpočet střední doby, směrodatné odchylky a rozptylu. Tyto hodnoty jsou počítány na základě vzorců (4), (5) a (6) z kapitoly 4.2. Veškeré hodnoty obsahuje následující tabulka.

**Tabulka 6:** Vstupní data pro metodu PERT

činnost (hrana)	odhad doby trvání			střední doba	směrod. odch.	rozptyl
	optimist.	modální	pesimist.			
$h_{ij}$	$a_{ij}$	$m_{ij}$	$b_{ij}$	$\mu_{ij}$	$\sigma_{ij}$	$\sigma^2_{ij}$
$h_{12}$	6	8	10	48/6	4/6	16/36
$h_{23}$	1	2	3	12/6	2/6	4/36
$h_{34}$	2	3	4	18/6	2/6	4/36
$h_{35}$	1	1	2	7/6	1/6	1/36
$h_{45}$	0	0	0	0	0	0
$h_{56}$	1	2	3	12/6	2/6	4/36
$h_{67}$	1	2	4	13/6	3/6	9/36
$h_{68}$	2	3	5	19/6	3/6	9/36
$h_{78}$	0	0	0	0	0	0
$h_{89}$	1	1	2	7/6	1/6	1/36
$h_{910}$	1	2	3	12/6	2/6	4/36
$h_{914}$	1	2	4	13/6	3/6	9/36
$h_{1011}$	2	3	4	18/6	2/6	4/36
$h_{1012}$	1	1	2	7/6	1/6	1/36
$h_{1112}$	0	0	0	0	0	0
$h_{1213}$	0	1	2	6/6	2/6	4/36
$h_{1315}$	1	2	3	12/6	2/6	4/36
$h_{1415}$	0	1	2	6/6	2/6	4/36

Zdroj: (Vlastní zpracování)

Na základě vypočtených hodnot uvedených v tabulce 6, lze přejít k výpočtu nejdříve možných začátků, nejpozději přípustných konců činností a výpočtu časových rezerv. Podobnost metody CPM a PERT je zřejmá. Při výpočtu metodou PERT nejdříve možných začátků a nejpozději přípustných konců je na místo pevně daných hodnot  $y_{ij}$  počítáno se středními hodnotami dob trvání činností  $\mu_{ij}$ . Tyto hodnoty jsou počítány podle vzorců (1) a (2) z kapitoly 4. 1. Výpočet časových rezerv je následně počítán pomocí vzorce (3). Veškeré hodnoty jsou vyjádřeny v následujícím grafu. Kritická cesta prochází uzly s celkovou časovou rezervou nula, pro názornost je tato cesta v následujícím grafu označena červenou barvou.



**Obrázek 13:** Kritická cesta projektu SERVISBAL OBALY

Zdroj: (Vlastní zpracování)

Z tohoto grafu vyplývá, že kritická cesta prochází uzly číslo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 a 15. Činnostem vyplývajících z kritické cesty, musí být při realizaci daného projektu věnována zvýšená pozornost. Tyto činnosti nemají žádnou časovou rezervu. V případě, že dojde ke zpoždění u některé z těchto činností, je celkem jisté, že dojde ke skluzu v celém projektu. Manažeři by měli tedy počítat s tím, že tyto činnosti budou vyžadovat více času, bude potřeba, aby svoji pozornost věnovali především těmto činnostem nebo aby pověřili jinou osobu, která bude sledovat vývoj a průběh dané činnosti.

Po zjištění kritické cesty lze přejít k výpočtu celkové střední doby trvání, směrodatné odchylky a rozptylu.

Střední doba trvání celého projektu je tedy

$$M = 48/6 + 12/6 + 18/6 + 0 + 12/6 + 19/6 + 7/6 + 12/6 + 18/6 + 7/6 + 6/6 + 12/6 = 28,5 \text{ týdne}$$

Rozptyl doby trvání celého projektu je

$$\sigma_{KC}^2 = (4/6)^2 + (2/6)^2 + (2/6)^2 + 0 + (2/6)^2 + (3/6)^2 + (1/6)^2 + (2/6)^2 + (2/6)^2 + (1/6)^2 + (2/6)^2 + (2/6)^2 = 1,527778$$

a směrodatná odchylka

$$\sigma = \sqrt{1,527778} = 1,236033$$

Celková délka projektu je náhodná veličina se střední hodnotou  $M = 28,5$  týdne a směrodatnou odchylkou  $\sigma = 1,236033$ . Rozptyl je roven hodnotě 1,527778. Čím vyšší je hodnota rozptylu, tím víc se může skutečná hodnota doby trvání činnosti lišit od vypočítané střední hodnoty.

Na závěr celého projektu je vhodné vypočítat, v jakém čase bude projekt dokončen s pravděpodobností 95 % a 99 %, tedy jaká bude maximální délka projektu s přesností 95 a 99 procent. K výpočtu budou použity vzorce (7) a (8) z kapitoly 4.2 a také hodnoty distribuční funkce rozdělení  $N(0,1)$  z přílohy A.

$$Ts_1 = 28,5 + 1,645 * (1,236033) = 30,53$$

$$Ts_2 = 28,5 + 2,326 * (1,236033) = 31,38$$

Z těchto výpočtů vyplývá, že projekt bude s pravděpodobností 95 % dokončen až v čase 30,53 týdne a s pravděpodobností 99 % až v čase 31,38 týden. Manažeři by tedy měli počítat s určitou časovou rezervou.

## 8 Porovnání metod

Tato kapitola se věnuje porovnávání metod jednak z teoretické stránky a také z hlediska jejich využití. Porovnávány budou metody, které byly použity na projekt společnosti SERVISBAL OBALY, s. r. o. Jak již bylo řečeno, jedná se o metody nejužívanější a nejoblíbenější při řízení projektů. Na první pohled se zdají být stejné, ale v následující podkapitole bude toto tvrzení vyvráceno.

### 8.1 Metoda CPM a PERT

Základem obou těchto metod je, že se jedná o techniky řízení projektů sloužící k určení kritické cesty v projektu. Tím si jsou podobné. Rozdíl mezi těmito dvěma metodami je v tom, že metoda CPM je metodou deterministickou, kdežto metoda PERT metodou stochastickou. Deterministické metody mají jasně dané vstupní veličiny, kdežto vstupní veličiny u stochastických metod mají náhodný charakter.

Metoda PERT je technika řízení projektů, která se využívá u projektů, kde nejsou přesně dány délky činností. Tato metoda má za cíl poskytnout objektivní podklady pro odhad pravděpodobnosti dodržení termínu realizace složitých projektů. Zjednodušeně řečeno, metoda PERT je využívána především v projektech, kdy dobu trvání není možné přesně určit, můžeme ji určit jen s určitou pravděpodobností. Očekávaná doba trvání projektu je spočítána ze 3 hodnot, a to z optimistického, pesimistického a modálního odhadu. Tato metoda je využívána tehdy, kdy nemáme dostatek kvalitních informací o budoucích činnostech. Využití této metody je především ve výzkumu a vývoji (Zuchovickij, 1973).

Kdežto metoda CPM je přesnější, využívá se tehdy, kdy máme k dispozici dostatek informací pro přesné určení doby trvání činností. Je tedy potřeba vědět o každé činnosti přesný čas jejího trvání. CPM předpokládá, že trvání aktivity je pevné a jisté. Tato metoda je využívána především na výzkumné projekty, jako je pozemní stavitelství, stavba lodí atd. (Zuchovickij, 1973).

Vzhledem k tomu, že metoda CPM nezohledňuje nejistotu, je nejvhodnější ji použít v projektech, kde lze odhadnout dobu trvání aktivit poměrně přesně. Napříkladu opakujících se projektů můžete přesně odhadnout čas pro každou aktivitu z minulých zkušeností. Pro projekty, které mají vyšší míru nejistoty, je vhodné použít metodu PERT.

## 9 Shrnutí

Projekt modulární pobočky by podle výsledků získaných metodou CPM mohl být realizován během 27 týdnů, což odpovídá zhruba 6 až 7 měsícům. Podle metody PERT by projekt mohl být dokončen za 28,5 týdne. Podnik by měl tedy uvažovat s rezervou, měl by spíše počítat s tím, že celý projekt zabere místo 7 měsíců, 8 měsíců.

Na základě podkladů, které jsem získala od ředitele společnosti, jsem měla možnost nahlédnout do harmonogramu celého projektu. Předpokládaná doba ukončení projektu byla 9 měsíců. Po výpočtu metodami CPM a PERT jsem zjistila, že celková doba na realizaci projektu je kratší, než doba předpokládaná ředitelem společnosti. Tato doba se liší zhruba o 1 měsíc.

Pomocí těchto metod bylo možné stanovit kritické činnosti a tím v grafu odhalit kritickou cestu. První z kritických činností bylo stanovení vize celého projektu. Doba pro definování vize byla stanovena na 8 týdnů. Při stanovení vize nemůže dojít k prodloužení času, protože byla shledána jako kritická činnost. Pokud by byla tato doba prodloužena, bude to znamenat, že následující činnosti budou muset být přehodnoceny a tím pádem dojde k prodloužení celkového času ukončení projektu. Dalšími kritickými činnostmi jsou průzkum trhu, vizualizace, definování vybavení, stanovení nákladů atd.

Naopak mezi činnostmi, u kterých společnost při jejich realizaci nemusí tolik pospíchat, patří například vyhledávání zákazníků, nebo sjednávání dopravy a likvidace odpadu. U těchto činností má společnost určitou časovou rezervu. Tuto rezervu může využít například k realizaci následující činnosti, tím pádem se dostane do časové výhody. Nebo se naopak může vrátit k předchozím činnostem.

Velkou výhodou síťové analýzy při řízení projektů je možnost zobrazení celého projektu do síťového grafu. Při takovém zobrazení je mnohem snazší řídit jednotlivé operace, rozdávat úkoly a celý projekt kontrolovat.

Další výhodou síťové analýzy je v tom, že v případě, že při realizaci projektu nastane problém, má podnik možnost přesně vidět, jestli má časovou rezervu na řešení daného problému či nikoli. V případě nulové časové rezervy má možnost se přizpůsobit, to znamená, že bude moci rychle reagovat a projekt uzpůsobit tak, aby nedošlo k prodloužení celkového času.

## 10 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat projektové řízení, s tím související úvod do teorie grafů, charakterizovat síťovou analýzu, její metody a na závěr aplikovat dané metody na konkrétní příklad týkající se podniku.

Začátek práce je věnován historii projektového řízení, základním pojmům z oblasti projektového řízení a dále jsou zde popsány jednotlivé fáze projektového řízení. Druhá kapitola se zabývá historií grafů obecně, následuje vysvětlení několika důležitých pojmů týkajících se grafů a v poslední části jsou rozepsána pravidla, která musí být dodržována při sestavování grafů. Na tuto kapitolu navazuje samotná síťová analýza. Třetí kapitola je tedy věnována síťové analýze a síťovým grafům. Dále jsou zde uvedeny podmínky pro vytváření projektů s využitím síťových grafů. Kapitola 4 je věnována nejpoužívanějším metodám, tedy CPM a PERT. Obě metody jsou v této části bakalářské práce dopodrobna rozebrány. Jsou zde popsány jejich vlastnosti a možnosti. Dále je zde stanoven jejich výpočet, uvedeny jsou veškeré vzorce, které se u těchto metod užívají. Na závěr každé z metod je uveden jeden praktický vzorový příklad, který umožní celou problematiku lépe pochopit.

Pátá kapitola je zaměřena na popis dalších metod, které nejsou v praxi příliš využívány. Jde o metody MPM a GERT.

V šesté kapitole začíná praktická část. Na začátku je představen vybraný podnik. Dále je zde popsán zamýšlený projekt daného podniku, tedy zajištění modulární pobočky pro zákazníka. Veškeré činnosti pro zajištění projektu jsou sepsány do tabulky společně s jejich délkou trvání. Na základě těchto údajů je sestaven síťový graf. Na závěr probíhá výpočet hodnot, které jsou důležité pro zjištění kritické cesty.

Poslední 8 kapitola je věnována porovnání metod CPM a PERT. Hlavním rozdílem těchto metod je, že metoda CPM má jasně dané vstupní veličiny, kdežto u metody PERT mají tyto veličiny náhodný charakter. Metoda PERT je využívána především v projektech, kdy dobu trvání není možné přesně určit, můžeme ji určit jen s určitou pravděpodobností. Metoda CPM je přesnější, využívá se tehdy, když máme k dispozici dostatek informací pro přesné určení doby trvání činností. Z toho tedy vyplývá, že v případě projektu ve výzkumu a vývoji, kde je obtížné zjistit přesné časové údaje, je lepší použít metodu PERT, metodu CPM je výhodné použít například u projektů, které se opakují.



## Literatura

1. ČESKÝ SVAZ STAVEBNÍCH INŽENÝRŮ. *Síťová analýza a projekt (plán) organizace výstavby*: doporučený standard, metodická řada DOS M 02 VYST 97. Praha: Nakladatelství ŠEL, 1997. Doporučené standardy metodické (DOS M).
2. FIALA, Petr. *Projektové řízení - modely, metody, analýzy*. Praha: Professional Publishing, 2004. ISBN 80-86419-24-X.
3. JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.
4. KLUSOŇ, Václav. *Kritická cesta a PERT v řídicí praxi*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973.
5. PLEVNÝ, M; ŽIŽKA, M. *Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007. ISBN 978-80-7043-435-2.
6. ROSENAU, Milton D. a Eva BRUMOVSKÁ. *Řízení projektů*. Praha: Computer Press, 2000. Praxe manažera. ISBN 80-7226-218-1.
7. SIXTA, Josef a Miroslav ŽIŽKA. *Logistika: metody používané pro řešení logistických projektů*. Brno: Computer Press, 2009. Business books. ISBN 978-80-251-2563-2.
8. SEDLÁČEK, J. *Úvod do teorie grafů*. Academia, Praha 1981.
9. ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.
10. ZUCHOVICKIJ, Semen Izrail'jevič, RADČIK, Irina Abramovna. *Matematické metody síťové analýzy*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1973. ISBN 04-005-73

## Internetové zdroje

11. Fakulta stavební VUT v Brně [online]. [cit. 30.09.2019]. Dostupné z: [https://www.fce.vutbr.cz/EKR/asp/AktualityPredmety/FA/12\\_Prednaska.pdf](https://www.fce.vutbr.cz/EKR/asp/AktualityPredmety/FA/12_Prednaska.pdf)
12. KLICNAROVÁ, J. *Síťová analýza*, [20.8.2009]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~janaklic/emm/pr01.pdf>
13. MOINE, Jean-Yves. *Manuel de gestion de projet* [online]. Francie: Afnor Éditions, 2008, s. 1-18 [cit. 2020-02-03]. ISBN 9782124651382. Dostupné z: <https://excerpts.numilog.com/books/9782124651382.pdf>
14. NOVÁKOVÁ, Jana. *Projektový management*. In: Fakulta stavební VUT v Brně [online]. Brno [cit.2019-10-31]. Dostupné z: [https://www.fce.vutbr.cz/EKR/asp/AktualityPredmety/FA/12\\_Prednaska.pdf](https://www.fce.vutbr.cz/EKR/asp/AktualityPredmety/FA/12_Prednaska.pdf)
15. *Project Management Guide* [online] 2020 Yumpu.com all rights reserved [cit.06.05.2020] Dostupné z: <https://www.yumpu.com/en/document/view/19405189/project-management-guide>
16. *O nás*. SERVISBAL OBALY s.r.o. - tvoříme obaly pro budoucnost [online] [cit.30.09.2019]. Dostupné z: <http://www.servisbal.cz/o-nas.htm>
17. ŠÍŠMA, P. *Vznik a vývoj teorie grafů*. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie 43.2 [online] 1998, [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://eudml.org/doc/35205>
18. WATT, Adrienne. *Project Management* [online]. 2. vyd. Victoria, B.C.: BCcampus., 2014 [cit. 2019-10-31]. ISBN 978-1-77420-013-1. Dostupné z: <https://opentextbc.ca/projectmanagement/>

## **Přílohy**

Příloha A: Tabulka hodnot distribuční funkce standardizovaného normálního rozdělení...52

**Příloha A:** Tabulka hodnot distribuční funkce standardizovaného normálního rozdělení  $N(0,1)$

(pro hodnoty  $z \geq 0$ )

$z$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.52790	0.53188	0.53586
0.1	0.53983	0.54380	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57535
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409
0.3	0.61791	0.62172	0.62552	0.62930	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173
0.4	0.65542	0.65910	0.66276	0.66640	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68439	0.68793
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.70540	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490
0.7	0.75804	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.78230	0.78524
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79955	0.80234	0.80511	0.80785	0.81057	0.81327
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83398	0.83646	0.83891
1.0	0.84134	0.84375	0.84614	0.84849	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87286	0.87493	0.87698	0.87900	0.88100	0.88298
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89617	0.89796	0.89973	0.90147
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91308	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.92220	0.92364	0.92507	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520
2.6	0.99534	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.99760	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861
3.0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99896	0.99900
3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929
3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950
3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99965
3.4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976
3.5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983

Zdroj: (Jablonský, 2007)