

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra systémového inženýrství**



**Bakalářská práce**

**Časová analýza rekonstrukce elektrokotelny**

**Iveta Turečková**

**© 2023 ČZU v Praze**



# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Iveta Turečková

Ekonomika a management

Název práce

Časová analýza rekonstrukce elektrokotelny

Název anglicky

Time analysis of the electric boiler room reconstruction

---

Cíle práce

Firma zabývající se projekty v oblasti vytápění, klimatizace, hospodaření s vodou a výrobou energie poskytla údaje týkající se projektu rekonstrukce elektrokotelny v čistírně odpadních vod. Jedná se o celkovou rekonstrukci elektrokotelny, výměnu stávajícího elektrického akumulčního vytápění za nový zdroj využívající tepelné čerpadlo.

Hlavním cílem této bakalářské práce je na základě vybraných metod projektového řízení provést časovou analýzu projektu a dále za pomoci pravděpodobnostní analýzy stanovit předpokládaný termín dokončení díla. Úkolem dílčích cílů je sestavení plánu činností metodou WBS a na základě metody PERT nalézt kritické cesty, tzn. činnosti jejíž doba trvání může mít dopad na délku trvání celého projektu.

Závěrem jsou výsledky časové analýzy zhodnoceny a je pro tento projekt navrženo řešení, které by pomohlo k dodržení termínů smluvně požadovaných zákazníkem.

Metodika

Klíčem ke zpracování této bakalářské práce je vysvětlení pojmů projektového řízení a časové analýzy. Teoretická část charakterizuje základy projektového řízení, popisuje cíle a nástroje projektového řízení. Vzhledem k tomu, že tato bakalářská práce se zabývá časovou analýzou projektu, zaměřuje se na životní cyklus, fáze projektu a popisuje význam metody WBS. Následně se popisují metody síťové analýza CPM, PERT a pravděpodobnostní analýza.

Praktická část bakalářské práce představuje konkrétní projekt. Z důvodu zajištění logické identifikace a propojení jednotlivých činností se sestaví WBS diagram. Pro výpočet metody PERT použijeme časové odhady a vypočtené střední hodnoty trvání každé činnosti projektu včetně možné odchylky od této hodnoty. Metoda PERT zahrnuje sestavení síťového grafu a identifikaci kritické cesty. Následně se výsledky časové analýzy zpracují pravděpodobnostní analýzou a vypočte se pravděpodobnost plánovaného termínu předání celého projektu. Na závěr bude zhodnocen výsledek časové analýzy a doporučení pro realizaci projektu.

**Doporučený rozsah práce**

35 – 40 stran

**Klíčová slova**

Časová analýza, WBS, PERT, síťový graf, elektrokotel

---

**Doporučené zdroje informací**

DOLEŽAL, Jan, Pavel MÁCHAL a Branislav LACKO. Projektový management podle IPMA. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2012. Expert (Grada). ISBN 978-80-24742-75-5.

DOLEŽAL, J. – LACKO, B. – HÁJEK, M. – CINGL, O. – KRÁTKÝ, J. – HRAZDILOVÁ BOČKOVÁ, K. *Projektový management : komplexně, prakticky a podle světových standardů*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5620-2.

FIALA, Petr. Projektové řízení: modely, metody, řízení. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2004, 276 s. ISBN 80-864-1924-X.

ROSENAU, Milton D. Řízení projektů. Vyd. 3. Brno: Computer Press, c2007, x, 344 s. Business books. ISBN 978-80-251-1506-0.

SVOZILOVÁ, A. *Projektový management : systémový přístup k řízení projektů*. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-271-0075-0.

ŠUBRT, T. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2022/23 LS – PEF

**Vedoucí práce**

Ing. Jiří Fejfar, 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 10. 03. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Časová analýza rekonstrukce elektrokotelny" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2023

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Jiřímu Fejfarovi, Ph.D.

# Časová analýza rekonstrukce elektrokotelny

## Abstrakt

Bakalářská práce „Časová analýza rekonstrukce elektrokotelny“ zpracovává projekt poskytnutý firmou z oboru energetiky.

Teoretická část je věnována základním pojmům k projektovému řízení a časové analýze. Definuje se zde co je projekt, jeho cíle, nástroje a metody projektového řízení. Dále jsou popsány životní cykly projektu, hierarchická struktura činností (WBS). V rámci časové analýzy je popsána metoda CPM a PERT a postup výpočtu pravděpodobnosti.

Praktická část je zpracována na základě údajů, které poskytla firma z oboru. Byly stanoveny potřebné činnosti, seřazeny do seznamu a uvedeny odhady jejich dob trvání. Časová analýza je provedena metodou PERT. Na základě určení časových odhadů byla vypočtena střední hodnota trvání jednotlivých činností a možná odchylka od této hodnoty. Znázornění vztahů mezi jednotlivými činnostmi bylo pomůckou pro vyhotovení síťového grafu, zde je určena předpokládaná doba ukončení celého projektu a vyznačena pravděpodobná kritická cesta. Dále byla na základě statistické analýzy stanovena pravděpodobnost splnění navržených termínů.

Závěrem, na základě výsledků, byla navržena doporučení pro realizaci tohoto projektu.

**Klíčová slova:** CPM, Časová analýza, elektrokotel, PERT, projekt, síťový graf, tepelné čerpadlo, WBS

# **Time analysis of the reconstruction of the electric boiler room**

## **Abstract**

The bachelor thesis "Time analysis of the reconstruction of the electric boiler room" is a project provided by a company in the energy sector.

The theoretical part is devoted to the basic concepts of project management and time analysis. The theoretical part defines what the project is, its objectives, tools and methods of project management. The life cycle of the project and hierarchical activity structure (WBS) are described. CPM and PERT methods and probability determination are described in the framework of time analysis.

The practical part is based on data provided by a company in the industry. The required activities are identified, ranked in a list and estimates of their durations are given. The time analysis is carried out using the PERT method. Based on the determination of the time estimates, the mean value of the duration of each activity and the possible deviation from this value is calculated. The depiction of the relationships between the activities was an aid to the production of the network graph, here the estimated time of completion of the entire project is determined and the likely critical path is indicated. Furthermore, the probability of meeting the proposed deadlines is determined based on statistical analysis.

Finally, based on the results, recommendations for the implementation of this project are proposed.

**Keywords:** CPM, Time analysis, electric boiler, PERT, project, network graph, heat pump, WBS



# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>13</b>
2.1 Cíl práce .....	13
2.2 Metodika .....	13
<b>3 Teoretická východiska .....</b>	<b>14</b>
3.1 Projektové řízení .....	14
3.1.1 Projekt.....	15
3.1.2 Cíl projektu .....	17
3.1.3 Logický rámec .....	17
3.1.4 Nástroje a metody projektového řízení .....	19
3.2 Čas a fáze projektu .....	20
3.2.1 Životní cyklus projektu a fáze projektu .....	20
3.2.2 Řízení času v projektu.....	22
3.2.3 Hierarchická struktura činností (WBS).....	22
3.2.4 Úspěch projektu .....	24
3.3 Časová analýza .....	24
3.3.1 Síťové grafy .....	25
3.3.2 Metoda CPM.....	26
3.3.3 Metoda PERT .....	27
3.3.4 Kritická cesta .....	30
3.3.5 Stanovení pravděpodobnosti dodržení plánovaných termínů .....	30
3.3.6 Výpočet kritičnosti činností .....	31
<b>4 Vlastní práce.....</b>	<b>32</b>
4.1 Základní charakteristika projektu.....	32
4.1.1 Původní popis stavby .....	32
4.1.2 Základní charakteristika stavebních úprav .....	32
4.1.3 Napojení nového zařízení na stávající topný systém .....	33
4.2 Časová analýza projektu .....	34
4.2.1 Definování činností.....	34
4.2.2 Podpis Smlouvy o dílo.....	35
4.2.3 Přípravné práce .....	35
4.2.4 Demontáž původní technologie .....	35
4.2.5 Doprava technologie na staveniště .....	35
4.2.6 Stavební práce, montáž potrubí, elektro a MaR.....	36
4.2.7 Montáž nové technologie.....	36
4.2.8 Dokončovací práce, zkoušky, uvedení do provozu .....	36

4.3	Seřazení činností.....	36
4.3.1	Stanovení posloupnosti činností.....	36
4.3.2	Hierarchické uspořádání činnosti (WBS) .....	38
4.3.3	Časové odhady trvání činností .....	38
4.3.4	Odhady trvání činností (PERT).....	40
4.3.5	Síťový graf .....	40
4.3.6	Identifikace kritické cesty .....	42
4.3.7	Výpočet časových rezerv u všech činností .....	42
4.4	Pravděpodobnostní analýza.....	43
4.4.1	Kritičnost činností .....	44
4.4.2	Pravděpodobnost délky trvání projektu .....	44
4.4.3	Pravděpodobnost střední doby trvání projektu .....	46
4.4.4	Zhodnocení projektu .....	46
<b>5</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Seznam obrázků, tabulek, zkratk a příloh .....</b>	<b>51</b>
7.1	Seznam obrázků .....	51
7.2	Seznam tabulek.....	51
7.3	Seznam použitých zkratk.....	52
7.4	Seznam příloh.....	52

# 1 Úvod

*„Množství financí, které jsou potřeba na dokončení projektu, je nepřímo úměrné času, který nám zbývá do termínu, kdy musí být projekt ukončen.“*

Murphyho zákon (o čase)

Projektové řízení zasahuje do nejrůznějších oblastí lidské činnosti. Hlavní cílem je realizace určitého projektu v daném čase a s určitými náklady. Pokud se podíváme do minulosti, jedná se například o stavbu pyramid, katedrál, či jiných historických monumentů. Prioritou dnešního projektu je faktor času, řízení projektů usiluje o co nejkratší dobu trvání projektu, jejich realizace je většinou spojena s vysokými finančními náklady.

Jednou z klíčových problematik dnešní doby je budoucnost energetiky a teplotnictví. Dlouhodobě se plánovalo s ukončením spalování uhlí do roku 2030, jako náhradní zdroj energie v teplotnictví měl být plyn. Vzhledem k válce na Ukrajině se stává právě plyn velmi problematickým zdrojem energie a v budoucnu musíme najít cestu jakými palivy budeme topit a jak vyrábět elektřinu.

Současná doba nás vyzývá k energetické soběstačnosti. Prudký nárůst cen energií přináší pro spotřebitele i firmy značné problémy a vše nasvědčuje tomu, že ani v budoucnu nelze očekávat návrat k nízkonákladové energii. Energetická bezpečnost by měla být jednou ze strategických priorit každé země. Pro její zajištění je nutná transformace energetiky spojená s výstavbou jaderných bloků, obnovitelných či druhotných zdrojů energie (fotovoltaické, větrné a vodní elektrárny) a v neposlední řadě výstavba malých modulárních reaktorů. Teplotnictví obrací svůj zájem na bioplyn a vodík.

Bakalářská práce „Časová analýza rekonstrukce elektrokotelny“ se zabývá časovou analýzou konkrétního projektu. Záměrem projektu je celková rekonstrukce elektrokotelny, zahrnuje výměnu stávajícího elektrického akumulárního vytápění za nový zdroj, tepelné čerpadlo. Pro pokrytí tepelných provozů i při nízkých teplotách bude systém doplněn o elektrokotel. Podobných záměrů stejného i daleko většího rozsahu je nyní na našem trhu

řada. Podnětem pro jejich realizaci je hlavně probíhající energetická krize a snaha mnoha firem i domácností o optimalizaci energetických nákladů, případně zajištění záložního zdroje pro případ výpadku aktuálního způsobu vytápění. Projektové řízení nabízí cestu úspěšného zvládnutí daných projektů.

## 2 Cíl práce a metodika

### 2.1 Cíl práce

Firma zabývající se projekty v oblasti vytápění, klimatizace, hospodaření s vodou a výrobou energie poskytla údaje týkající se projektu rekonstrukce elektrokotelny v čistírně odpadních vod. Jedná se o celkovou rekonstrukci elektrokotelny, výměnu stávajícího elektrického akumulárního vytápění za nový zdroj využívající tepelné čerpadlo.

Hlavním cílem této bakalářské práce je na základě vybraných metod projektového řízení provést časovou analýzu projektu a dále za pomoci pravděpodobnostní analýzy stanovit předpokládaný termín dokončení díla. Mezi dílčí cíle patří sestavení plánu činností metodou WBS (Work breakdown structur) a na základě metody PERT nalezení kritické cesty, tzn. činnosti, jejíž doba trvání může mít dopad na délku trvání celého projektu.

Závěrem jsou výsledky časové analýzy zhodnoceny a je pro tento projekt navrženo řešení, které by pomohlo k dodržení termínů smluvně požadovaných zákazníkem.

### 2.2 Metodika

Klíčem ke zpracování této bakalářské práce je vysvětlení pojmů projektového řízení a časové analýzy. Teoretická část charakterizuje základy projektového řízení, popisuje cíle a nástroje projektového řízení. Vzhledem k tomu, že tato bakalářská práce se zabývá časovou analýzou projektu, zaměřuje se na životní cyklus, fáze projektu a popisuje význam metody WBS. Následně se popisují metody síťové analýzy CPM, PERT a pravděpodobnostní analýza.

Praktická část bakalářské práce představuje konkrétní projekt. Z důvodu zajištění logické identifikace a propojení jednotlivých činností se sestaví WBS diagram. Pro výpočet metody PERT použijeme časové odhady a vypočtené střední hodnoty trvání každé činnosti projektu včetně možné odchylky od této hodnoty. Metoda PERT zahrnuje sestavení síťového grafu a identifikaci kritických činností. Následně se výsledky časové analýzy zpracují pravděpodobnostní analýzou a vypočte se pravděpodobnost plánovaného termínu předání celého projektu. Na závěr bude zhodnocen výsledek časové analýzy a doporučení pro realizaci projektu.

## 3 Teoretická východiska

### 3.1 Projektové řízení

Začátky projektového řízení spadají do období po druhé světové válce. Přesto i v dávné minulosti bychom našli řadu akcí, které měly projektový charakter. Jedná se o stavby různých starověkých monumentů. Již v těchto dobách se začínaly používat různé postupy, metody a techniky, které umožňovaly zvládnutí tak rozsáhlých a organizačně náročných akcí. Při srovnání se současností je zde ovšem několik zásadních rozdílů. Doba byla pomalejší, čas nehrál velkou roli a v rozvinutých civilizacích byl také dostatek zdrojů. Dnešní doba je dynamická a vzájemně provázaná. Projekty jsou značně omezeny, a to jak ve zdrojích, tak v čase. Na mnoho věcí bylo již včera pozdě. Pokud chce organizace v dnešní době přežít, musí se přizpůsobovat neustále se měnícím podmínkám na trhu. Projektové řízení se dříve používalo převážně ve stavebnictví a v průmyslu. Živnou půdou pro rozvoj projektového řízení se stal rozvoj informační technologie, projektové řízení se začalo používat v oblasti IT (Informační technologie) a to od vývoje hardwaru, softwarové aplikace až po složité informační systémy. Od šedesátých let minulého století lze zaznamenat snahy o mezinárodní standardizaci v oblasti projektového řízení. Vznikají mezinárodní projekty a s nimi nutnost se domluvit a efektivně spolupracovat. (Doležal, 2016, s. 14)

Výrazný dopad na projektové řízení měla globalizace. V souvislosti s globálním podnikatelským prostředím byly společnosti nuceny přizpůsobovat své vnitřní schopnosti rychlým reakcím a změnám, které vyžaduje trh. Dochází k tomu pod tlakem mezinárodního tržního prostředí, díky novým hospodářsko-politickým uskupením, z nutnosti reagovat na silnější a vyspělejší konkurenční taktiky nebo na nové potřeby trhu. Tradiční řídicí struktury byly pod tlakem těchto změn nahrazovány procesními modely a projektovým řízením. (Svozilová, 2016, s. 41)

Podle Svozilové (2016, s. 42) je pro projektově řízené společnosti typické, že jsou řízené formou procesů s omezenou dobou trvání a formou projektů, tj. dočasným přidělením zdrojů.

Existují dva hlavní typy společnosti (Svozilová, 2016, s. 41-42):

- Realizují pro jiné společnosti na základě kontraktu. Do této oblasti jde zahrnout firmy podnikající v oblasti stavebnictví, informační technologie, dodávky specializovaných technologických celků apod. Tyto firmy generují své výkony formou projektů.
- Zabývají se řízením vývoje nových produktů, produktovým marketingem, investiční činností, zaváděním změn a inovací. Tyto firmy aplikují projektové řízení jako metodu řízení vnitřních operací.

Projektové řízení (Project management) lze definovat jako soubor norem a doporučení, jak daný projekt řídit tak, aby bylo dosaženo předpokládaného cíle v plánovaném termínu, při stanoveném rozpočtu, s disponibilními zdroji a bez nežádoucích vedlejších efektů. Cílem je úspěšný projekt. (Doležal, 2016, s. 16)

### 3.1.1 Projekt

Nejdůležitějším prvkem projektového řízení je samotný projekt. Jeho definice se může v konkrétních formulacích lišit. Níže jsou uvedeny dvě formulace projektu, první je podle profesora Kerznera, druhá vychází z pramenů PMI.

1. *„Projekt je jakýkoliv jedinečný sled aktivit a úkolů, který má:*
  - *Dán specifický cíl, jenž má být jeho realizací splněn,*
  - *definováno datum začátku a konce uskutečnění,*
  - *stanoven rámec pro čerpání zdrojů potřebných pro jeho realizaci.“*
2. *„Projekt je dočasné úsilí vynaložené na vytvoření unikátního produktu, služby nebo určitého výsledku. „. (Svozilová, 2016, s. 20)*

S odkazem na definici profesora Kerznera, kdy projektem je jakýkoliv sled aktivit, které mají cíl, časové omezení a limity pro čerpání zdrojů na realizaci, můžeme definovat tři základny projektového managementu. (Svozilová, 2016, s. 21)

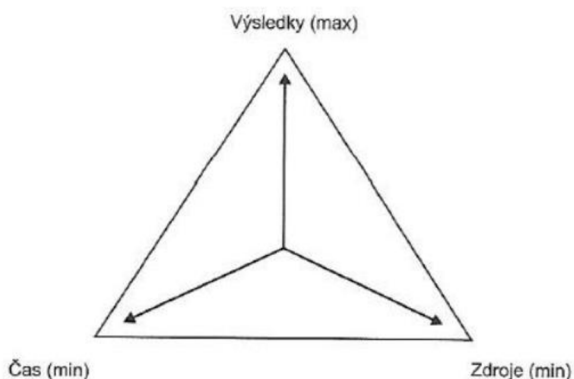
Obrázek 1 Základny projektového managementu



Zdroj: Svozilová, 2016, s. 22

Co očekáváme od úspěšného projektu? Projekt by měl splňovat trojimperativ, tzn. své výstupy, ve vymezeném čase a s použitím přidělených zdrojů. Základem je provázanost těchto tří veličin. Pokud se změní jedna veličina a druhá má zůstat nezměněna, třetí se musí změnit odpovídajícím způsobem. (Doležal 2016, s. 81)

Obrázek 2 Trojimperativ projektu



Zdroj: Doležal, 2016, s. 81

Cíl si můžeme představit jako bod v daném trojúhelníku. Pokud byl cíl definován pomocí metody SMART, definovali jsme i vzdálenost od jednotlivých vrcholů daného trojúhelníku (Doležal et al., 2012, s. 66).

Důležitým kritériem projektového řízení je i tzv. kritérium úspěchu projektu. Jedná se o měřítko, které posuzuje poměrný úspěch nebo neúspěch projektu. Požadavkem je jeho



srozumitelnost, jednoznačnost a měřitelnost. Každý projekt má svoje měřítka, která jsou komunikována se zákazníkem. Kritéria se mohou v průběhu projektu upravovat.

(Doležal et al., 2012, s. 35)

### 3.1.2 Cíl projektu

Mezi klíčové faktory úspěchu projektu náleží správná definice jeho cíle. Čím neurčitěji je cíl definován, tím se zvyšuje pravděpodobnost, že některá ze zainteresovaných stran začne rozporovat to, co bylo realizováno, oproti definování, respektive očekávání.

(Doležal, 2016, s. 79)

Jednou z pomůcek pro dobré definování cíle je technika SMART.

Cíle podle metody SMART (Doležal, 2016, s.79):

- S – specifický (specific) – potřebujeme vědět CO?
- M – měřitelný (measurable) – měřitelnost dosažení cíle
- A – akceptovaný (agreed) – všechny zainteresované strany se shodly na relevantnosti a adekvátnosti cíle
- R – realistický (realistic) – „nestavíme vzdušné zámky“
- T – termínovaný (timed) – jasné časové ohraničení

Někdy se používá „I“ – integrovaný (integrated) do organizační strategie.

Podle Doležala (et al., 2013, s. 19) je vhodné každý námět na projekt zformulovat do dokumentu zvaného Projektový záměr. Dokument formuluje hlavní parametry projektu, které jsou následně komunikovány s okolím. Definiuje cíle, předpokládané náklady a délku trvání. Následujícím dokumentem projektu je Logický rámec.

### 3.1.3 Logický rámec

*„Logický rámec (LR, logframe, logická rámcová matice) slouží jako pomůcka při stanovování základních parametrů projektu. Je součástí metodiky návrhu a řízení projektu označované jako „Logical Framework Approach – LFA“, která uceleně řeší přípravu, návrh, realizaci a vyhodnocení projektu.“* (Doležal, 2016, s. 83)

Dokument Logický rámec formuluje zadání a strategii projektu, a to včetně plánovaných přínosů. Doporučeným postupem pro zpracování dokumentu je stanovení cílů, výstupů projektu a skupiny klíčových činností. Dále je nutno určit přínosy projektu, ověřit dodržování vertikální logiky (jestliže – pak), stanovit požadované předpoklady, objektivně ověřitelné ukazatele a současně prostředky a způsoby ověření. V neposlední řadě je nutno určit náklady na provedení činností a přehodnotit návrh projektu dle zkušeností s obdobnými projekty. Závěrem se zkontroluje tabulka jako celek. (Doležal et al., 2013, s. 29-31)

Tabulka 1 Logický rámec

<b>Záměr</b>	Objektivně ověřitelné ukazatele	Zdroje informací k ověření (způsob ověření)	<i>nevypĺňuje se</i>
<b>Cíl</b>	Objektivně ověřitelné ukazatele	Zdroje informací k ověření (způsob ověření)	Předpoklady, za jakých Cíl skutečně přispěje a bude v souladu se Záměrem
<b>Výstupy</b>	Objektivně ověřitelné ukazatele	Zdroje informací k ověření (způsob ověření)	Předpoklady, za jakých Výstupy skutečně povedou k Cíli
<b>Klíčové činnosti</b>	Zdroje (peníze, lidé...)	Časový rámec aktivit	Předpoklady, za jakých Klíčové činnosti skutečně povedou k Výstupům
<i>Zde některé organizace uvádí, co NEBUDE v projektu řešeno</i>			Případné předběžné podmínky

Zdroj: (Doležal et al., 2012, s. 68)

Nejnižší úroveň logického rámce je tvořena klíčovými činnostmi (aktivitami), jedná se o vstupy projektu. Jsou to hlavní činnosti ovlivňující rozhodujícím způsobem realizaci konkrétních výstupů. Jedná se o naznačení scénáře, JAK bude daných výstupů dosaženo a CO bude daným projektem dodáno. Specifikují se v konkrétní výstupy uvedené ve vyšší úrovni logického rámce. Co je nutno projektovým týmem realizovat a za co nese přímou odpovědnost. Cíl (změna) odpovídá na otázku PROČ a popisuje zaměření projektu. Jeden projekt má jen jeden cíl, který je konkrétně ohraničen. Určuje požadovaný stav dané problematiky v okamžiku ukončení projektu. Nejvyšší řádek logického rámce obsahuje záměr projektu. (Doležal et al., 2012, s. 68-69)

V případě, že logický rámec nebude zpracován, je vysoké riziko překročení rozpočtu projektu, nedodržení termínů, nezískání očekávaných přínosů, riziko nedorozumění a sporů mezi zainteresovanými stranami. (Doležal et al., 2013, s. 29)

### 3.1.4 Nástroje a metody projektového řízení

Při realizaci projektu je kladen důraz na plánování činností a analyzování jednotlivých částí projektu. Tyto kroky jsou nápomocny k lepšímu určení časové, nákladové a zdrojové náročnosti projektu. Přiřazení pracovníci vědí, co mají v určité fázi projektu dělat a jaký je jejich cíl.

Projekt se může analyzovat z hlediska časového, nákladového, zdrojů a rizik. Tato bakalářská práce se zabývá problematikou **časové analýzy**. Pro realizaci každého projektu je čas jedním z klíčových faktorů. Vyhotovení časové analýzy nám pomůže určit dobu trvání projektu, termíny zahájení, ukončení jednotlivých činností a případné časové rezervy.

Podle Svozilové (2011, s. 137–138) je nedílnou součástí Plánu projektu časový rozpis jednotlivých kroků, tzv. harmonogram a diagram. Diagramy prošly velkou změnou v minulém století od jednoduchých pásových diagramů a diagramů milníků. K nedostatkům diagramů náleží, že neobsahovaly zobrazení závislostí mezi jednotlivými segmenty a nezobrazovaly následky, které by nastaly při změně v průběhu řízení projektu. Tyto problémy řeší síťové diagramy, které se řadí mezi nejpoužívanější nástroje projektového řízení.

Šubrt a Langrová (2013) uvádějí, že nástroje projektového řízení se vyvíjely od jednoduchých pruhových diagramů a nástrojů pro síťovou analýzu až po efektivní integrované nástroje řízené kooperací.

Podle Doskočila (2013, s. 20) jsou projektovým manažerům a projektovému týmu nápomocny techniky a metody projektového řízení rozdělené podle devíti znalostních oblastí:

- **Řízení rozsahu** (WBS – Hierarchická struktura prací)
- **Řízení času** (CPM, MPM, PERT – metody síťové analýzy, Ganttovy diagramy)
- **Řízení nákladů** (čistá současná hodnota, návratnost investic, řízení dosažené hodnoty)
- **Řízení kvality** (kontrolní seznamy, Paretovy diagramy, statistické metody)
- **Řízení lidských zdrojů** (motivační techniky, matice odpovědnosti, teambuilding)
- **Řízení komunikace** (kick-off meeting, reporty, virtuální komunikace)

- **Řízení rizik** (metoda RIPRAN – Risk Project Analysis, bodovací metoda s mapou rizik)
- **Řízení obstarávání** (Analýza vlastní síly, metriky hodnocení dodavatelů, smlouvy)
- **Integrované řízení** (SWOT analýza, analýza zájmových skupin, řízení změn projektu, meetingy, hodnotící zprávy)

## 3.2 Čas a fáze projektu

O projektu se často hovoří jako o procesu změny z počátečního stavu na stav cílový, má svůj začátek a konec a další omezení jako např. zdroje a čas. Čas je klíčový parametr projektu, je důsledně sledován a úspěch samotného projektu závisí na dodržování časového rámce. Projekt se z časového hlediska a podle charakteru prováděných činností může rozdělit na několik fází řízení projektu, dohromady vytváří životní cyklus řízení projektu.

(Doležal et al., 2012, s. 166-167)

### 3.2.1 Životní cyklus projektu a fáze projektu

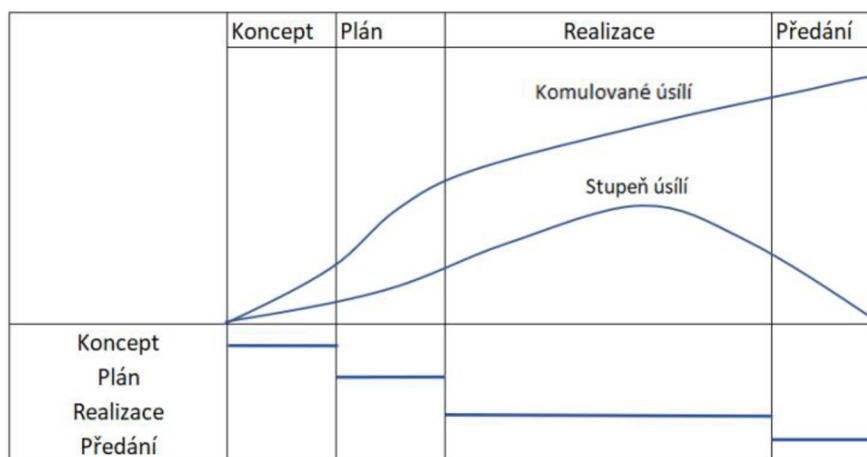
*„Fáze řízení projektu lze v nejobecnějším pojetí rozdělit na:*

- *předprojektovou fází (definiční),*
- *projekt (zahájení, příprava, realizace, ukončení),*
- *poprojektovou fází (vyhodnocení, provoz)“.*

(Doležal et al., 2012, s. 168)

Podle Fialy (2004, s. 24–26) se počet fází projektu může lišit podle podrobnosti členění, většinou je počet fází mezi čtyřmi až osmi. Základní rozdělení projektu je na fáze koncepční, plánu, realizace a předání. Jednotlivé fáze jsou charakteristické stupněm úsilí pro své splnění a jsou měřitelné, např. celkovým počtem pracovních hodin. Průběh úsilí odráží i náklady, které se musely vynaložit. Obrázek č. 3 znázorňuje, že největší úsilí a největší náklady jsou vynaloženy ve fázi realizační. Z hlediska příležitosti pro vytvoření přidané hodnoty je nejvýznamnější fáze koncepční. Zde jsou analyzovány požadavky zákazníka, vzniká koncept produktu a jeho realizace. Chyby, které vznikly v koncepční fázi, mají negativní dopad na růst nákladů v souvislosti s případnými změnami v projektu.

Obrázek 3 Životní cyklus projektu



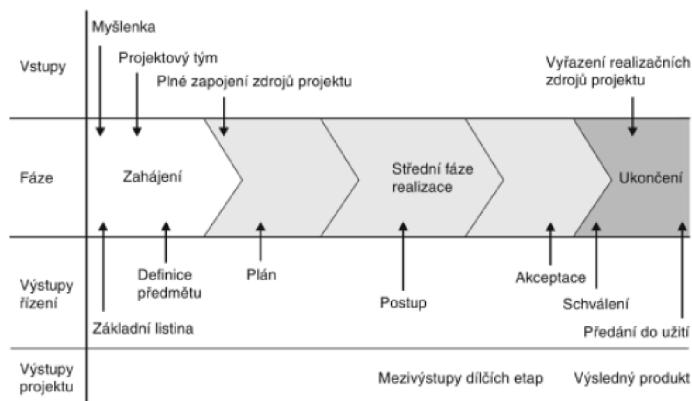
Zdroj: Fiala, 2004, s. 28

Praxe ukazuje, že čas bývá nejhůře řízen v předprojektové, zahajovací, přípravné a pak poprojektové fázi. Upřednostňovaná je naopak fáze realizační, která obsahuje vlastní tvorbu výstupů. Podceňování přípravy může mít negativní vliv na celkový výsledek a je důkazem nepochopení projektové problematiky. Je nutno co nejvíce omezit nejistotu, která je v projektu vždy významná. Šťěstí přeje připraveným. (Doležal et al., 2012, s. 167-168)

Základní fáze řízení projektu se nepřekrývají a mohou být realizovány i s určitým časovým odstupem. Hovoří se zde o inkubační době projektu. Realizační fáze řízení projektu se člení do realizačních etap. Jedná se o skupiny logicky souvisejících činností, které jsou ukončeny některým hlavním výstupem nebo jeho klíčovou součástí. Nejen jednotlivé etapy, ale i menší části projektu jsou oddělovány tzv. milníky (z anglického milestone – kámen u cesty označující vzdálenost). Milník je jasně definovaný časový okamžik, který slouží k měření rozpracovanosti projektu. Představuje bod zpětné kontroly, bod přijetí nějakého rozhodnutí, přejímky. (Doležal et al., 2012, s. 167-168)

Podle Svozilové (2016, s. 38–39) fáze životního cyklu projektu definují typ práce, která má být provedena v daném stupni projektu, dále očekávané výstupy včetně jejich ověřování a hodnocení a konečně, kdo je zapojen v jednotlivých částech do aktivit projektu.

Obrázek 4 Typické rozložení fází životního cyklu projektu



Zdroj: Svozilová, 2016, s. 39

### 3.2.2 Řízení času v projektu

Podle Doležala (2016, s. 137) je plánování času jednou z klíčových součástí projektu. Nejdříve je nutné definovat činnosti nutné k realizaci, a to v návaznosti na WBS daného projektu. Dále je nutno přihlídnout k případným relevantním omezením nebo podmínkám. V této fázi projektu se definují všechny činnosti a úkoly potřebné k realizaci požadovaných výsledků a dodávek uvedených ve WBS.

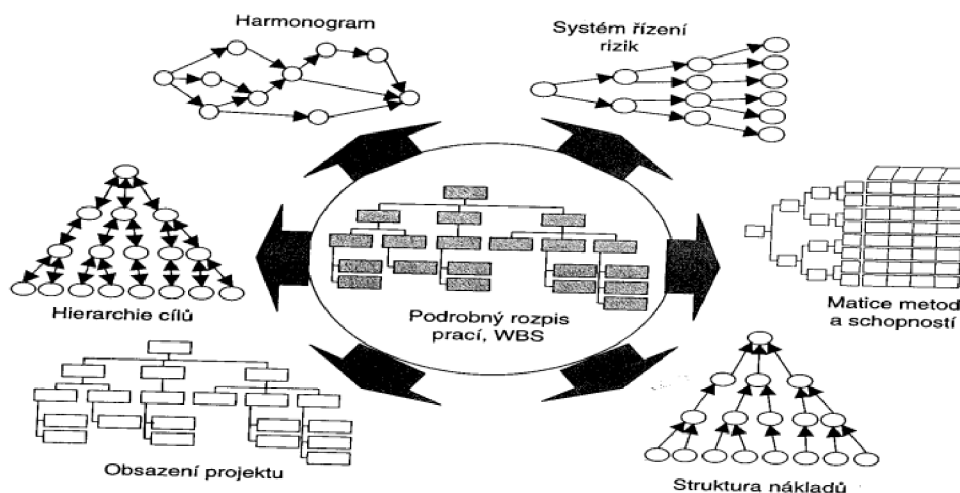
### 3.2.3 Hierarchická struktura činností (WBS)

Podle Doskočila (2013, s. 18) množství práce nutné k úspěšné realizaci projektu určuje rozsah projektu. Pro přesnější definování rozsahu projektu se provede rozklad projektu na menší části, subprojekty, etapy, souhrnné činnosti a definuje se provázanosti mezi nimi. Strukturováním projektu vzniká hierarchická struktura práce WBS.

Metoda WBS (Work Breakdown Structure) je vhodná pro rozdělení projektu pracovních balíčků, činností a úkolů. Účelem této metody je zajištění logické identifikace a propojení všech projektových činností a snížení pravděpodobnosti, že jsme v projektu nějakou činnost opomenuli. (Rosenau, 2007, s. 71)

Postup sestavování WBS je od větších, komplexnějších celků do podrobnějších detailů, způsobem „shora dolů“ (Doležal et al., 2013, s. 58).

Obrázek 5 Podrobný rozpis prací jako základna pro sestavení dalších projektových dokumentů



Zdroj: Svozilová, 2016, s. 140

Podrobný rozpis prací projektu (WBS) je souborem elementů umožňující následující vlastnosti projektu (Svozilová 2016, s. 139–140):

- říditelnost – možnost dalšího delegování odpovědnosti za realizaci dílčích úkolů
- měřitelnost – možnost sledování postupného plnění dílčích činností
- integrovanost – návaznost jednotlivých dílčích aktivit, výstup tvořící jeden celek
- nezávislost – veškeré dílčí aktivity jsou obsahem projektu, jednotné řízení a co nejmenší interakce s okolními projekty.

Seřazení činnosti do logických vazeb pomůže ke stanovení časového harmonogramu. Existuje mnoho typů vazeb mezi činnostmi. Nejznámějšími jsou vazby (Doležal et al., 2012, s. 178):

- konec – začátek (předcházející činnost musí končit, následující může začít)
- konec – konec (předcházející činnost musí končit, následující může končit)
- začátek – začátek (předcházející činnost musí začít, následující musí začít)
- začátek – konec (předcházející činnost musí začít, následující musí skončit)

Pokud by WBS nebyl zpracován, hrozí riziko neúspěchu celého projektu. Důležité součásti projektu nebudou dodány nebo naopak, budou realizovány dodávky a činnosti, které nejsou ke splnění cíle projektu potřebné, WBS pokrývá 100 % věcného rozsahu projektu.

Kvalitně zpracovaný WBS tvoří podklad pro vypracování dokumentů jako matice odpovědnosti, rozpočet a finanční plán a plán řízení projektu. (Doležal et al., 2013, s. 57-58)

### 3.2.4 Úspěch projektu

Jednou z posledních aktivit životního cyklu projektu je jeho vyhodnocení, které spadá do okamžiku ukončení realizační fáze projektu. Jedná se o dokument, který sumarizuje výsledky dosaženého projektu a porovnává je s kritérii úspěšnosti, které byly definovány na začátku projektu a vychází z logického rámce. Posuzujeme, zda projekt je či není úspěšný a jaké poučení nám dává do budoucna. (Doležal et al., 2013, s. 169-170)

Zda je projekt úspěšný, můžeme posoudit dle následujících kritérií:

- Projekt splnil požadovaný rozsah, náklady, cíl.
- Spokojenost zákazníka
- Výstup, který projekt přinesl, splnil hlavní očekávání projektu

(Doskočil, 2013, s. 21)

## 3.3 Časová analýza

Nejčastějším způsobem modelování projektů jsou **síťové grafy**. Síťová analýza vychází z grafického vyjádření složitých projektů a provádí analýzu z hlediska času, nákladů nebo zdrojů potřebných k realizaci. Jedná se o matematický model projektu. Analýza projektu může být provedena podle různých ukazatelů, které představují ohodnocení činností v daném projektu. (Fiala, 2004, s. 79–80)

Podle Fialy (2004, s. 80) a Doskočila (2013, s. 18), pokud ohodnocení představuje údaje o době trvání činností, provádí se **časová analýza**. Výsledkem časové analýzy jsou časy začátků a konců činností projektu, nejdříve možný termín dokončení projektu a časové rezervy jednotlivých činností. Na časovou analýzu projektu může navazovat analýza nákladů a zdrojů.



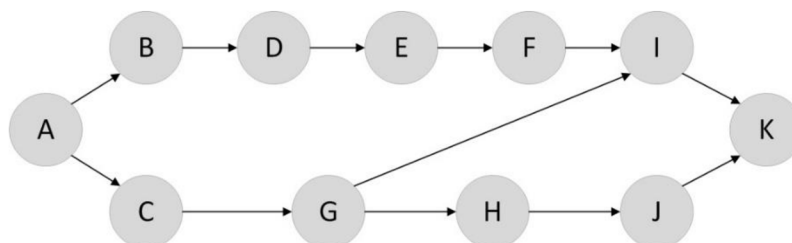
### 3.3.1 Síťové grafy

Podle Rosenau (2007, s. 84, 332) je síťový graf grafické zobrazení spojující projektové činnosti a události, účelem je znázornění jejich vzájemné závislosti. Jednotlivé činnosti a události jsou graficky zobrazeny jako hrany a uzly a mají vzájemné vazby s předchozími činnostmi a událostmi.

Rozlišujeme dva druhy modelů síťových grafů. Hranově definovaný síťový graf, kde představují hrany grafu činnosti projektu a uzly události. U uzlově definovaného síťového grafu představují uzly grafu činnosti projektu a hrany vazby mezi činnostmi. Každý ze způsobů zobrazení přináší své výhody a nevýhody. Metody lépe vysvětluje hranově definovaný síťový graf, snadnější vyjádření vazeb mezi činnostmi nabízí uzlově definovaný síťový graf, který umožňuje současně i možnost rozlišení různých typu vazeb.

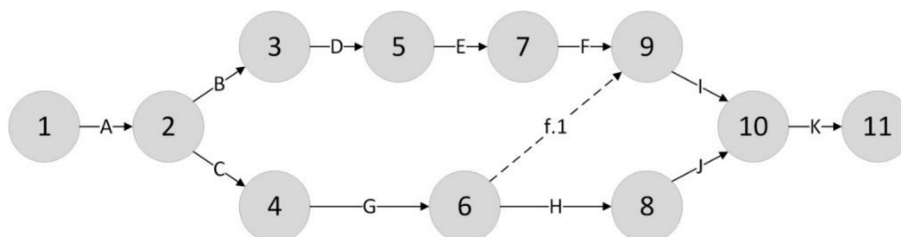
(Fiala, 2004, s. 79-80)

Obrázek 6 Uzlově definovaný síťový graf



Zdroj: Doležal et al., 2012, s. 179

Obrázek 7 Hranově definovaný síťový graf



Zdroj: Doležal et al., 2012, s. 179

Sestavování síťového grafu vyžaduje zachovat následující základní pravidla (Doležal et al. 2012, s. 179):

- graf má jeden začátek,
- graf má jeden konec,
- šipky jsou orientované zleva doprava a představují tok času (nelze vytvořit cykly).

V tabulce č. 2 je uveden přehled nejčastěji se vyskytujících modelů a metod řešení síťových grafů.

Tabulka 2 Modely a metody řízení projektů

Síťový graf	Struktura grafu	Interpretace ohodnocení	Druh ohodnocení	Metoda
Hranově definovaný	Deterministická	Čas	Deterministická	CPM
			Stochastická	PERT
		Náklady	Deterministická	CPM/COST
		Zdroje	Deterministická	Sumarizace, rozvrhování, vyrovnávání
	Stochastická	Čas	Deterministická	GERT
		Náklady	Deterministická	
Pravděpodobnost		Stochastická		
Uzlově definovaný	Deterministická	Čas	Deterministická	MPM
		Náklady	Deterministická	Počítačové
		Zdroje	Deterministická	systémy

Zdroj: Fiala, 2012, s. 86

### 3.3.2 Metoda CPM

Nejznámější metoda síťové analýzy je metoda **CPM** (Critical Path Method – Metoda kritické cesty). Jedná se o deterministický matematický model. Vstupními údaji jsou činnosti ( $i, j$ ) a doba jejich trvání  $t_{ij}$ . Můžeme zadat i plánovanou délku trvání projektu. Tato metoda nám umožňuje stanovit kritické činnosti, které mohou ovlivnit dobu trvání celého projektu. Stanoví celkové časové rezervy a kritickou cestu. (Fiala, 2004, s. 85–86)

Základní parametry modelu CPM (Šubrt a kolektiv, 2015 s. 271):

$t_{ij}$  - doba trvání činnosti ( $i, j$ )

$t_i^0$  - termín nejdříve možného zahájení činnosti ( $i, j$ )  
 $t_j^0$  - termín nejdříve možného ukončení činnosti ( $i, j$ )  
 $t_i^1$  - termín nejpozději možného zahájení činnosti ( $i, j$ )  
 $t_j^1$  - termín nejpozději přípustného ukončení činnosti ( $i, j$ )  
 $T_i^0$  - termín nejdříve možné realizace počátečního uzlu činnosti ( $i, j$ )  
 $T_j^0$  - termín nejdříve možné realizace koncového uzlu činnosti ( $i, j$ )  
 $T_i^1$  - termín nejpozději přípustné realizace počátečního uzlu činnosti ( $i, j$ )  
 $T_j^1$  - termín nejpozději přípustné realizace koncového uzlu činnosti ( $i, j$ )

Fiala (2004, s. 86) uvádí, že výpočet termínů probíhá ve dvou fázích. Nejdříve možné termíny  $t_i^0$  se počítají při výpočtu vpřed od počátku projektu (uzel 1) do jeho konce (uzel  $n$ ). Nejpozději přípustné termíny  $t_i^1, t_j^1, T_j^1$  se počítají při výpočtu vzad od konce projektu k počátku projektu.

*„Metoda kritické cesty (angl. Critical Path Method, CPM) je metodou, která je založena na vyhledávání a analýze kritické cesty projektu – nejdelšího sledu úkolů projektu, které neobsahují žádné časové rezervy, metoda neobsahuje kombinované odhady trvání úseků projektu, což je její největší odlišností od metody PERT“.* (Svozilová, 2016, s. 151)

### 3.3.3 Metoda PERT

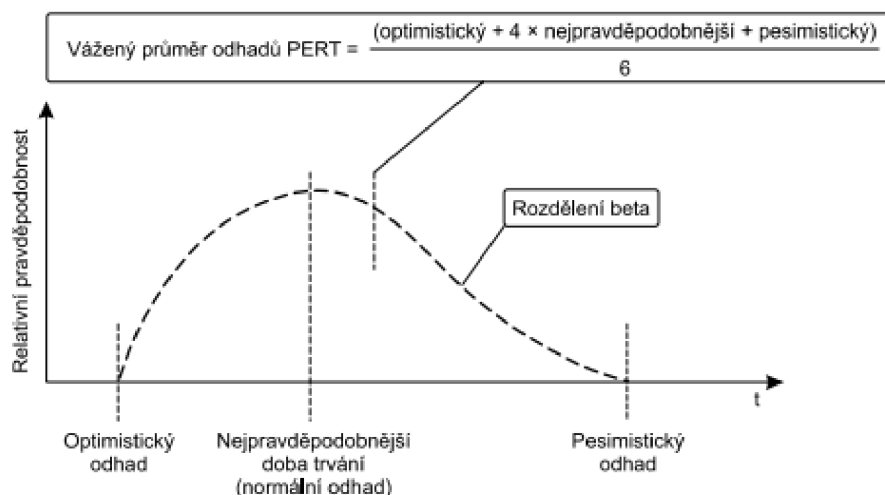
Podle Fialy (2004, s. 95) je metoda CPM zjednodušenou verzí metody PERT. U metody PERT se předpokládá, že doby trvání činnosti jsou náhodné veličiny, jedná se stochastickou metodu.

Na rozdíl od metody CPM není u metody PERT přesně známa doba trvání činností, je dána s určitou pravděpodobností. Doba trvání není konstantní, jedná se o náhodnou veličinu s určitým rozdělením pravděpodobnosti Beta. Předpokladem výpočtu metody PERT je odhad délek trvání jednotlivých činností ( $i, j$ ) a to u tří ukazatelů (Šubrt a kolektiv, 2015 s. 277):

- $a_{ij}$  - optimistický odhad doby trvání činností ( $i, j$ )
- $b_{ij}$  – pesimistický odhad doby trvání činností ( $i, j$ )
- $m_{ij}$  – nejpravděpodobnější odhad doby trvání činností ( $i, j$ )

Podle Doležala (2012, s.183) řadíme tento tříčíselný odhad mezi složitější možnosti vznikl v rámci metody plánování projektů a programů PERT.

Obrázek 8 Způsob výpočtu nejpravděpodobnější doby trvání činnosti



Zdroj: Doležal et al., 2012, s. 183

Podle Fialy (2004, s. 95) vychází optimistický odhad z předpokladu velmi příznivých podmínek pro realizaci projektu. Pesimistický odhad vychází z předpokladu mimořádně nepříznivých podmínek pro realizaci projektu a modální (nejpravděpodobnější) odhad pracuje s běžnými podmínkami.

Šubrt (2015, s. 278) uvádí, že na základě výše uvedených ukazatelů můžeme k jednotlivým činnostem vypočítat základní statistické charakteristiky. Jedná se o **střední hodnotu doby trvání**  $\mu(t_{ij})$ , tzv očekávanou dobu trvání a její **rozptyl**  $\sigma^2(t_{ij})$ .

$$\mu(t_{ij}) = t_{ij}^e = \frac{a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}}{6} \quad (1)$$

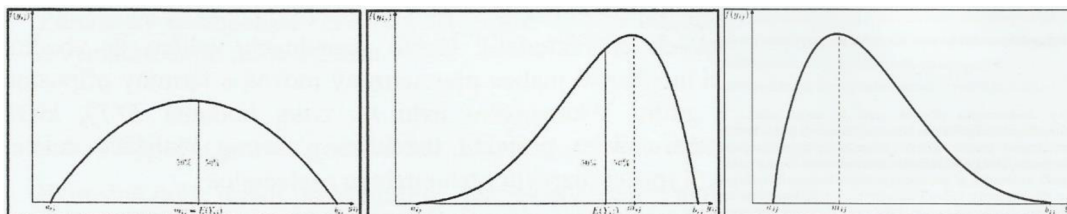
$$\sigma^2(t_{ij}) = \left(\frac{b_{ij} - a_{ij}}{6}\right)^2 \quad (2)$$

Z výsledku vyplývá, že čím vyšší je hodnota rozptylu, tím větší je pravděpodobnost rozdílu mezi skutečnou hodnotou doby trvání činnosti a její střední hodnotou. Metoda PERT má za cíl výpočet středních hodnot a rozptylů všech termínů nejdříve a nejpozději možných a určení tzv. očekávané kritické cesty. (Šubrt, 2015, s. 278)

Podle Doskočila (2013, s. 61) patří hustota pravděpodobnosti, střední hodnota a rozptyl mezi základní charakteristiky spojitých náhodných veličin. Na základě výše uvedených odhadů se konstatuje hypotetická křivka funkce hustoty pravděpodobnosti ve třech variantách (Doskočil, 2013, s. 61):

- Symetrická funkce (střední doba trvání činnosti se rovná nejpravděpodobnějšímu odhadu trvání činnosti)
- Funkce zkosená vpravo (střední doba trvání činnosti je menší nejpravděpodobnějšímu odhadu trvání činnosti)
- Funkce zkosená vlevo (střední doba trvání činnosti je větší nejpravděpodobnějšímu odhadu trvání činnosti)

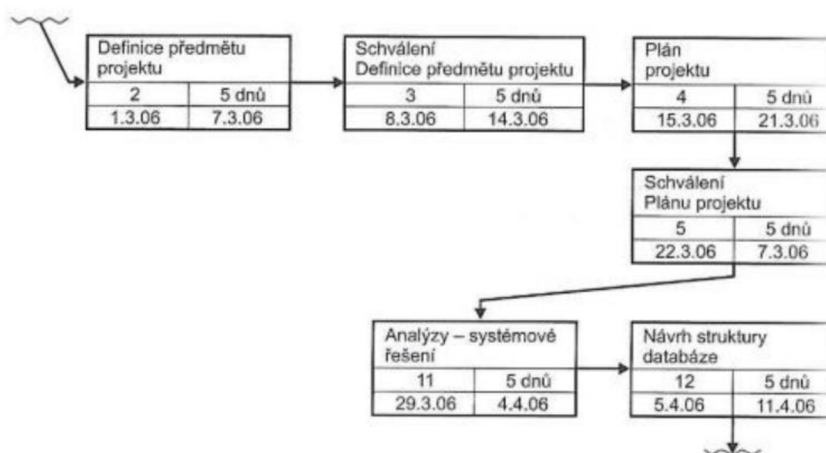
Obrázek 9 Typické průběhy funkce hustoty pravděpodobnosti beta rozdělení



Zdroj: Doskočil, 2013, s. 61

Podle Svozilové (2016, s. 154) se metoda PERT používá spíše pro projekty vývoje, zde je složitější dopředu odhadnout délku trvání jednotlivých činností a vazby plnění na fakturaci. Metoda CPM je vhodnější u projektů s předem určenými délkami trvání jednotlivých činností platebními podmínkami, které jsou navázány na plánované termíny.

Obrázek 10 Příklad PERT diagramu



Zdroj: Svozilová, 2016, s. 154

### 3.3.4 Kritická cesta

Jak bylo již v bodě 3.3.2 uvedeno, kritická cesta znamená nejdelší cestu v síti grafu. Doba trvání  $T$  je náhodná veličina a její délka je určena součtem trvání kritických činností, které jsou také náhodnými veličinami. Střední doba trvání projektu  $T$  je dána součtem středních hodnot dob trvání kritických činností. (Fiala, 2004, s. 96-99):

$$\blacksquare T = \sum_k T_e \quad (3)$$

Směrodatná odchylka délky trvání projektu  $\sigma(T)$  se rovná odmocnině součtu rozptylů dob trvání kritických činností:

$$\blacksquare \sigma(T) = \sqrt{\sum_k \sigma^2} \quad (4)$$

Rozptyl délky trvání projektu se rovná součtu rozptylů trvání kritických činností:

$$\blacksquare \sigma^2(T) = \sum_k \sigma^2 \quad (5)$$

### 3.3.5 Stanovení pravděpodobnosti dodržení plánovaných termínů

Výsledky výpočtů metody PERT stanoví očekávané doby trvání projektu, rozptylu této doby a předpokládané kritické cesty. Existuje pravděpodobnost, že doba trvání bude menší, projekt bude kratší nebo naopak větší a projekt bude delší. (Šubrt a Langrová, 2013, s. 30)

Pokud je znám plánovaný termín ukončení projektu ( $PT$ ), odhad pravděpodobnosti dodržení termínu znázorňuje níže uvedený vztah:

$$\blacksquare P(T \leq PT) = \Phi \left( \frac{PT - E(T)}{\sigma(T)} \right) = \Phi(u) \quad (6)$$

$T$  doba trvání projektu,

$PT$  plánovaný termín ukončení projektu,

$\Phi$  distribuční funkce náhodné veličiny  $T$ , jejíž chování lze popsat normovaným normálním rozdělením  $N(0,1)$ ,

$E(T)$  střední doba trvání celého projektu (očekávaný termín realizace celého projektu),  
 $\sigma(T)$  směrodatná odchylka,  
 $u$  kvantil normovaného normálního rozdělení (normované  $PT$ ).

Distribuční funkce  $\Phi(u)$  je hledaná pravděpodobnost a její hodnota se nalezne ve statistických tabulkách. (Doskočil, 2013, s. 64)

Tabulka 3 Doporučené hodnoty pravděpodobnosti pro hodnocení stochastických síťových grafů

Interval pro hodnoty pravděpodobnosti	Hodnocení
Do 0,25	Nedostatečné zajištění činností ležících na cestě daného uzlu. Je třeba hledat způsoby, pomocí kterých dosáhneme vyšších hodnot.
0,25 až 0,60	Dobré zajištění činností – je dostatečně zabezpečena realizace projektu.
0,60 a více	Nadbytečné zajištění projektu – dochází k nadbytečnému plýtvání zdrojů.

Zdroj: Doskočil, 2013, s. 65

### 3.3.6 Výpočet kritičnosti činností

Pokud hledáme pravděpodobnost, s jakou se činnost nekritická stane kritickou, nutno určit pravděpodobnost kdy bude celková časová rezerva činnosti (náhodná veličina) rovna nebo menší než nula. (Doskočil, 2013, s. 65-66)

Pro vypočítání této pravděpodobnosti lze použít vzorec:

$$\blacksquare P(R_i \leq 0) = F(0) = \Phi \frac{(T_j^1 - T_i^0 - Y_{ij})}{\sqrt{\sigma^2(T_j^1) + \sigma^2(T_i^0) + \sigma^2(Y_{ij})}} \quad (7)$$

$T_i^0$  nejdříve možná doba trvání projektu v uzlu,

$T_j^1$  nejpozději přípustná doba trvání projektu v uzlu,

$R_i$  interferenční rezerva v uzlu

$\Phi$  distribuční funkce náhodné veličiny  $T$

$\sigma^2$  rozptyl v uzlu

## 4 Vlastní práce

### 4.1 Základní charakteristika projektu

Pro zpracování časové analýzy byl vybrán projekt firmy, která dlouhodobě působí na trhu energetiky a vodního hospodářství. Firma získala zakázku pro pobočku čistírny odpadních vod. Jedná se o mechanicko-biologickou čistírnu pro přibližně 9500 obyvatel, její kapacita je 3900 m<sup>3</sup>/den. Záměrem projektu je celková rekonstrukce elektrokotelny, která zahrnuje výměnu stávajícího elektrického akumulárního vytápění za nový zdroj, tepelné čerpadlo. Pro pokrytí tepelných potřeb i při nízkých teplotách, případně při poruše některého z tepelných čerpadel, bude systém doplněn elektrokotlem.

#### 4.1.1 Původní popis stavby

V suterénu budovy se nachází elektrokotelna o výkonu 2 x 72 kW, která vytápí provozní objekt, prostory provozů hrubého čištění, odvodnění kalu, uskladnění kalu a zahuštění kalu. Vzhledem k tomu, že část topných těles v elektrokotlích je mimo provoz, celkový topný výkon je dlouhodobě nižší. Topná tělesa instalovaná v kotlích se již nevyrábí a stávající elektrokotle jsou v havarijním stavu.

#### 4.1.2 Základní charakteristika stavebních úprav

Před zahájením montážních prací je nutno demontovat stávající zařízení elektrokotelny, a to včetně kabeláže a nosných prvků. V prostoru kotelny budou ponechány původní rozvody a expanzní nádoba o objemu 500 l. V podlaze kotelny je počítáno se zabudováním dvou železobetonových základových desek pro umístění nových tepelných čerpadel. V prostorách kotelny bude obnovena podlaha tvořená betonem a keramickou dlažbou.

Pro rekonstrukci bude nutno na stavbu dopravit nové technologické zařízení a stavební materiál pro provedení práce. Ze stavby bude na skládku uložena vybouraná stavební suť. Veškerý materiál nutný pro rekonstrukci bude dopraven po předání do realizace kompletně na místo tomu určené. Důvodem je minimalizace rizik z důvodu dlouhých dodacích lhůt a předpokládaného nárůstu ceny.



#### 4.1.3 Napojení nového zařízení na stávající topný systém

System vytápění zůstává nezměněn, mění se zdroj tepla. Stávající elektrokotle se nahrazují dvojicí tepelných čerpadel země / voda, každé s topným výkonem 43,1 kW. Tepelné čerpadlo využívá energii z půdy, a to díky podzemnímu potrubí, kterým proudí organická solanka. Tato směs, která v provozních podmínkách nezamrzne, předává zachycené teplo do výparníku tepelného čerpadla. ([www.stiebel-eltron.cz](http://www.stiebel-eltron.cz))

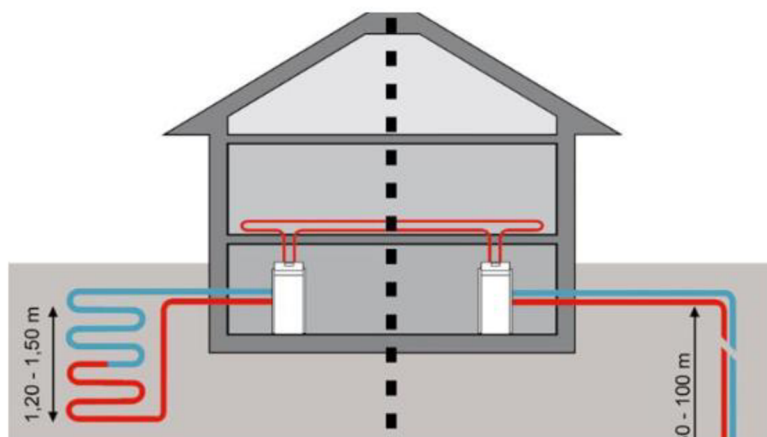
Obrázek 11 Tepelné čerpadlo země-voda WPF 40



Zdroj: [www.stiebel-eltron.cz](http://www.stiebel-eltron.cz)

Elektrokotel funguje jako doplňkový zdroj spínaný při venkovních teplotách pod cca  $-2,5$  °C. Bude napojen samostatným topným okruhem s oběhovým čerpadlem přímo na akumulaci nádobu. Elektrokotel se skládá z dvojice ocelových nádob, do kterých je zabudováno topné těleso, provozní termostat a bezpečnostní termostat. V každé nádobě jsou umístěna topná tělesa o příkonu 24 kW. Nádoby jsou tepelně izolovány.

Obrázek 12 Systém fungování tepelného čerpadla země - voda



Zdroj: [www.stiebel-elektron.cz](http://www.stiebel-elektron.cz)

## 4.2 Časová analýza projektu

### 4.2.1 Definování činností

Východiskem pro časovou analýzu projektu je definování jednotlivých činností, z nichž se daný projekt skládá. Činnosti budou rozděleny do pracovních balíčků a následně bude vytvořena hierarchická struktura WBS (Work Breakdown Structure).

- Podpis Smlouvy o dílo
- Převzetí staveniště
- Demontáž původní technologie
- Transport stavebního materiálu
- Doprava nové technologie
- Stavební práce a montáž potrubí
- Montáž elektro a MaR (měření a regulace)
- Montáž nové technologie
- Zkoušky, revize a uvedení do provozu
- Dokončení díla, převímka stavby
- Zpracování seznamu vad a nedodělků
- Předání kompletní technické dokumentace
- Podpis protokolu předání a převzetí díla
- Finanční vypořádání, prohlášení o shodě a záruční době

#### 4.2.2 **Podpis Smlouvy o dílo**

Podpisem Smlouvy o dílo se zhotovitel zavazuje provést a předat dílo v termínech uvedených v harmonogramu prací, který je přílohou Smlouvy o dílo, nejpozději však do 20ti týdnů od předání staveniště. V opačném případě je zhotovitel v prodlení.

#### 4.2.3 **Přípravné práce**

Dochází k předání staveniště. Zhotovitel se zavazuje převzít staveniště do 10 pracovních dnů, a to od data převzetí písemné výzvy objednatele. Objednatel předá zhotoviteli pravomocné stavební povolení. Pokud objednatel nepředá staveniště v předem stanoveném termínu, prodlouží se příslušný termín plnění zhotovitele o tuto dobu trvání prodlení. Zhotovitel předloží objednateli ke schválení projektovou dokumentaci. K předání staveniště dochází podpisem Protokolu, dále dochází k podpisu protokolů BoZP (Bezpečnost a ochrana zdraví při práci).

#### 4.2.4 **Demontáž původní technologie**

Zhotovitel provede demontáž původní technologie včetně elektro kabeláže. Následně dojde k rozebrání stávající stropní konstrukce a vytvoření montážního otvoru pro demontáž a montáž. Součástí demontáže je odbourání původních betonových soklů, části schodiště a odvoz stavební sutě a navezení stavebního materiálu.

#### 4.2.5 **Doprava technologie na staveniště**

Zhotovitel z důvodu rizika delší dodací lhůty a navýšení ceny nakoupí a uskladní veškerou novou technologii v předem domluvených prostorech zákazníka. Jedná se o následující zařízení:

- tepelné čerpadlo Stieber Eltron země – voda,
- akumulární solární nádobu Stieber Eltron 1500 l
- ohřívač výměňkový vertikální Stieber Eltron 300 l
- topidlo Stieber Eltron
- elektrokotel Stieber Eltron
- kabely, potrubní díly, armatury

#### **4.2.6 Stavební práce, montáž potrubí, elektro a MaR**

Stavební práce včetně potrubí zahrnují následující činnosti: obnova nášlapné vrstvy a podlahy, pokládka základové železobetonové desky pro nová čerpadla, venkovní podzemní trubní vedení, nové prostupy konstrukcí, obnovení izolace stropu, nové svařované ocelové zábradlí. V rámci montáže elektro bude provedena výměna kabeláže, doplnění stávajících rozvaděčů, instalace nového rozvaděče, a to včetně systému měření a regulace.

#### **4.2.7 Montáž nové technologie**

Montáž nové technologie zahrnuje: montáž nerezového potrubí s kulovými uzávěry, montáž ventilů, armatur s filtrem, osazení a připojení tepelného čerpadla země / voda, instalace záložního elektrokotle, nerezového snímače tlaku a výměníku.

#### **4.2.8 Dokončovací práce, zkoušky, uvedení do provozu**

Jsou provedeny revize, zkoušky, technologie je uvedena do provozu. Je sepsán seznam vad a nedodělků. Dochází k proškolení obsluhy, je proveden úklid a dochází ke zpětnému předání staveniště, k podpisu Protokolu. Je předána Dokumentace skutečného provedení, včetně předání návodů k obsluze a údržbě a podepsán Protokol předání a převzetí díla.

### **4.3 Seřazení činností**

#### **4.3.1 Stanovení posloupnosti činností**

Níže uvedená tabulka znázorňuje přehled všech činností a jejich vzájemné vazby. Jakmile vstoupí v platnost Smlouva o dílo, mohou začít přípravné práce. Bezprostředně předcházející činností předání staveniště a vstupu projektu do realizace je schválení projektové dokumentace. Ve stejnou dobu může začít i demontáž původní technologie. Z důvodu skladovacích možností může být nová technologie a ostatní materiál dopraven na stavbu také po předání staveniště, schválení projektu a jeho předání do realizace. Vzhledem k dostatečnému prostoru staveniště může být paralelně realizována montáž potrubí, armatur a instalace elektro rozvodů. Následně je provedena pokládka železobetonových desek a obnova podlahy. Zkoušky, revize a uvedení do provozu jsou provedeny po montáži

tepelného čerpadla a elektrokotle. Po úspěšném uvedení do provozu následuje podpis protokolu předání a převzetí díla. Tomuto protokolu předchází zpracování seznamu vad a nedodělků, školení obsluhy a předání kompletní technické dokumentace. Poslední činností je finanční vypořádání.

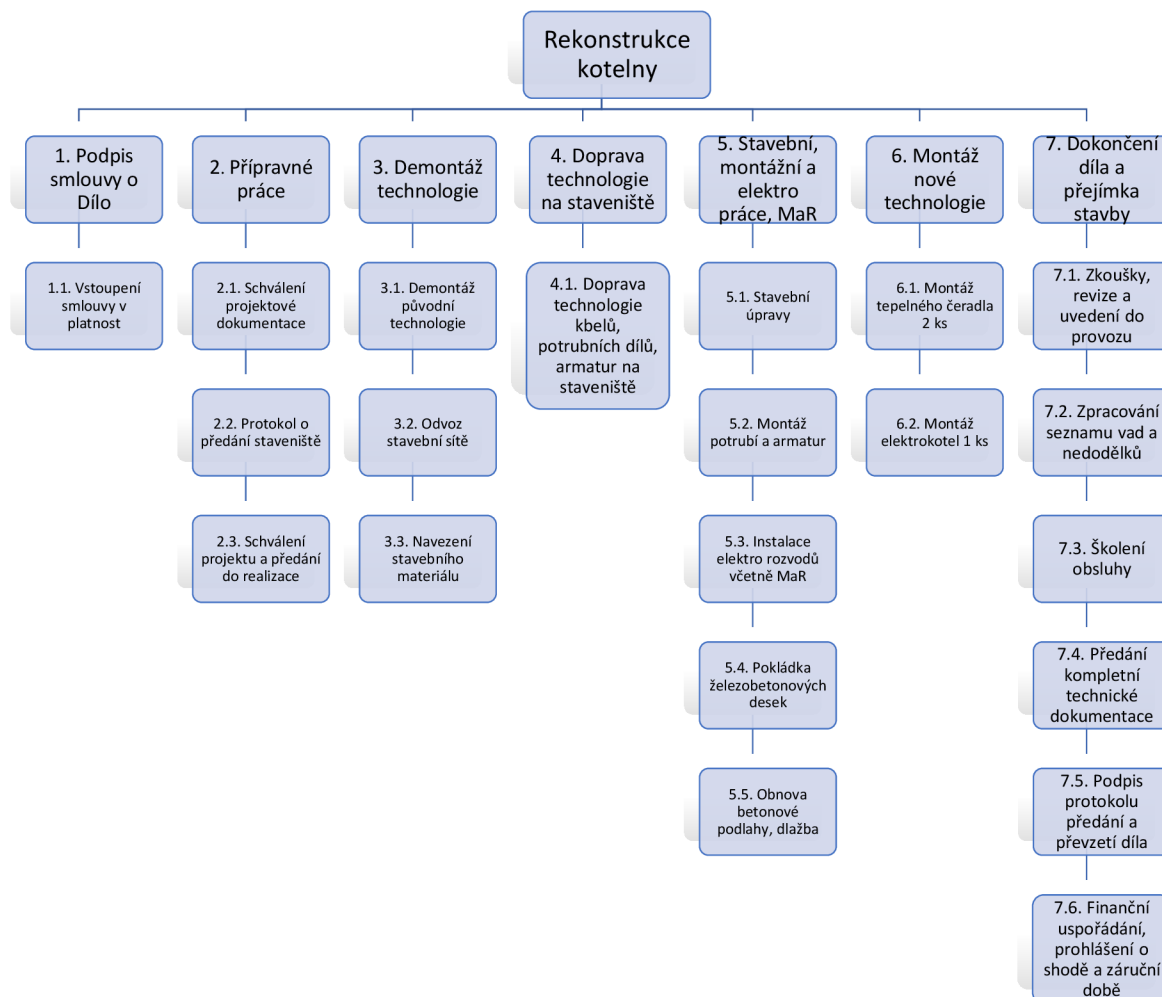
Tabulka 4 Definování činností a jejich následnost

Označení činnosti	Popis činnosti	Bezprostředně předcházející činnosti
<b>1.</b>	<b>Podpis Smlouvy o Dílo</b>	
A (1.1)	Vstoupení smlouvy v platnost	
<b>2.</b>	<b>Přípravné práce</b>	
B (2.1)	Schválení projektové dokumentace	A
C (2.2)	Protokol o předání staveniště	B
D (2.3)	Schválení projektu a předání do realizace	B
<b>3.</b>	<b>Demontáž technologie</b>	
E (3.1)	Demontáž původní technologie	C, D
F (3.2)	Odvoz stavební sutě	E
G (3.3)	Navezení stavebního materiálu	F
<b>4.</b>	<b>Doprava technologie na staveniště</b>	
H (4.1)	Doprava technologie, kabelů, potrubních dílů, armatur na staveniště	C, D
<b>5.</b>	<b>Stavební, montážní a elektro práce</b>	
I (5.1)	Stavební úpravy	G
J (5.2)	Montáž potrubí a armatur	H, I
K (5.3)	Instalace elektro rozvodů	H, I
L (5.4)	Pokládka železobetonových desek	J, K
M (5.5)	Obnova betonové podlahy, dlažba	L
<b>6.</b>	<b>Montáž nové technologie</b>	
N (6.1)	Montáž tepelného čerpadla 2 ks	M
O (6.2)	Montáž elektrokotel 1 ks	M
<b>7.</b>	<b>Dokončení díla a převjímká stavby</b>	
P (7.1)	Zkoušky, revize a uvedení do provozu	N, O
Q (7.2)	Zpracování seznamu vad a nedodělků	P
R (7.3)	Školení obsluhy	P
S (7.4)	Předání kompletní technické dokumentace	P
T (7.5)	Podpis protokolu předání a převzetí díla	Q, R, S
U (7.6)	Finanční vypořádání, prohlášení o shodě a záruční době	T

Zdroj: Vlastní zpracování

### 4.3.2 Hierarchické uspořádání činnosti (WBS)

Obrázek 13 Hierarchická struktura WBS



Zdroj: Vlastní zpracování

### 4.3.3 Časové odhady trvání činností

Časová analýza se zabývá reálným projektem. Společně s pracovníkem realizace byly odhadnuty doby trvání jednotlivých činností. Pro každou činnost byl stanoven  $a_{ij}$  – optimistický odhad,  $m_{ij}$  – nejpravděpodobnější odhad a  $b_{ij}$  – pesimistický odhad. Tyto odhady byly vepsány do následující Tabulky.

Tabulka 5 Odhad trvání činností (pracovní dny)

Činnost	Popis činnosti	Odhady trvání činnosti		
		$a_{ij}$	$m_{ij}$	$b_{ij}$
<b>1.</b>	<b>Podpis Smlouvy o Dílo</b>			
A	Vstoupení smlouvy v platnost	1	2	4
<b>2.</b>	<b>Přípravné práce</b>			
B	Schválení projektové dokumentace	7	12	15
C	Protokol o předání staveniště	5	10	15
D	Schválení projektu a předání do realizace	5	12	20
<b>3.</b>	<b>Demontáž technologie</b>			
E	Demontáž původní technologie	2	5	6
F	Odvoz stavební sutě	2	2,5	3
G	Navezení stavebního materiálu	1	1,5	2
<b>4.</b>	<b>Doprava technologie na staveniště</b>			
H	Doprava technologie, kabelů, potrubních dílů, armatur na staveniště	1	3	5
<b>5.</b>	<b>Stavební, montážní, elektro práce a MaR</b>			
I	Stavební úpravy	3	5	7
J	Montáž potrubí a armatur	4	5	8
K	Instalace elektro rozvodů	3	4,5	5
L	Pokládka železobetonových desek	0,5	1	2
M	Obnova betonové podlahy, dlažba	1	1,5	3
<b>6.</b>	<b>Montáž nové technologie</b>			
N	Montáž tepelného čerpadla 2 ks	10	12	18
O	Montáž elektrokotel 1 ks	8	10	12
<b>7.</b>	<b>Dokončení díla a převímka stavby</b>			
P	Zkoušky, revize a uvedení do provozu	2	2,5	3
Q	Zpracování seznamu vad a nedodělků	0,5	1	2
R	Školení obsluhy	0,5	0,5	1,5
S	Předání kompletní technické dokumentace	0,5	0,5	1
T	Podpis protokolu předání a převzetí díla	0,5	0,5	1
U	Finanční vypořádání, prohlášení o shodě a záruční době	1	1	2

Zdroj: Vlastní zpracování

#### 4.3.4 Odhady trvání činností (PERT)

Úlohy řešené metodou PERT jsou většinou neopakující se, pracují s odhadovanými údaji. Doba trvání činností není přesně dána, je dána pouze určitá pravděpodobnost. Následující tabulka uvádí pro jednotlivé činnosti daného projektu jejich střední doby trvání a rozptyly (vzorce č. 1 a 2).

Tabulka 6 Střední doba trvání a rozptyly jednotlivých činností

Označení činnosti	Odhady trvání činnosti			Střední doba trvání činnosti	Rozptyl činnosti
	$a_{ij}$	$m_{ij}$	$b_{ij}$	$\mu(t_{ij})$	$\sigma^2(t_{ij})$
A	1	2	4	2,2	0,25
B	7	12	15	11,7	1,78
C	5	10	15	10,0	2,78
D	5	12	20	12,2	6,25
E	2	5	6	4,7	0,44
F	2	2,5	3	2,5	0,03
G	1	1,5	2	1,5	0,03
H	1	3	5	3,0	0,44
I	3	5	7	5,0	0,44
J	4	5	8	5,3	0,44
K	3	4,5	5	4,3	0,11
L	0,5	1	2	1,1	0,06
M	1	1,5	3	1,7	0,11
N	10	12	18	12,7	1,78
O	8	10	12	10,0	0,44
P	2	2,5	3	2,5	0,03
Q	0,5	1	2	1,1	0,06
R	0,5	0,5	1,5	0,7	0,03
S	0,5	0,5	1	0,6	0,01
T	0,5	0,5	1	0,6	0,01
U	1	1	2	1,2	0,03

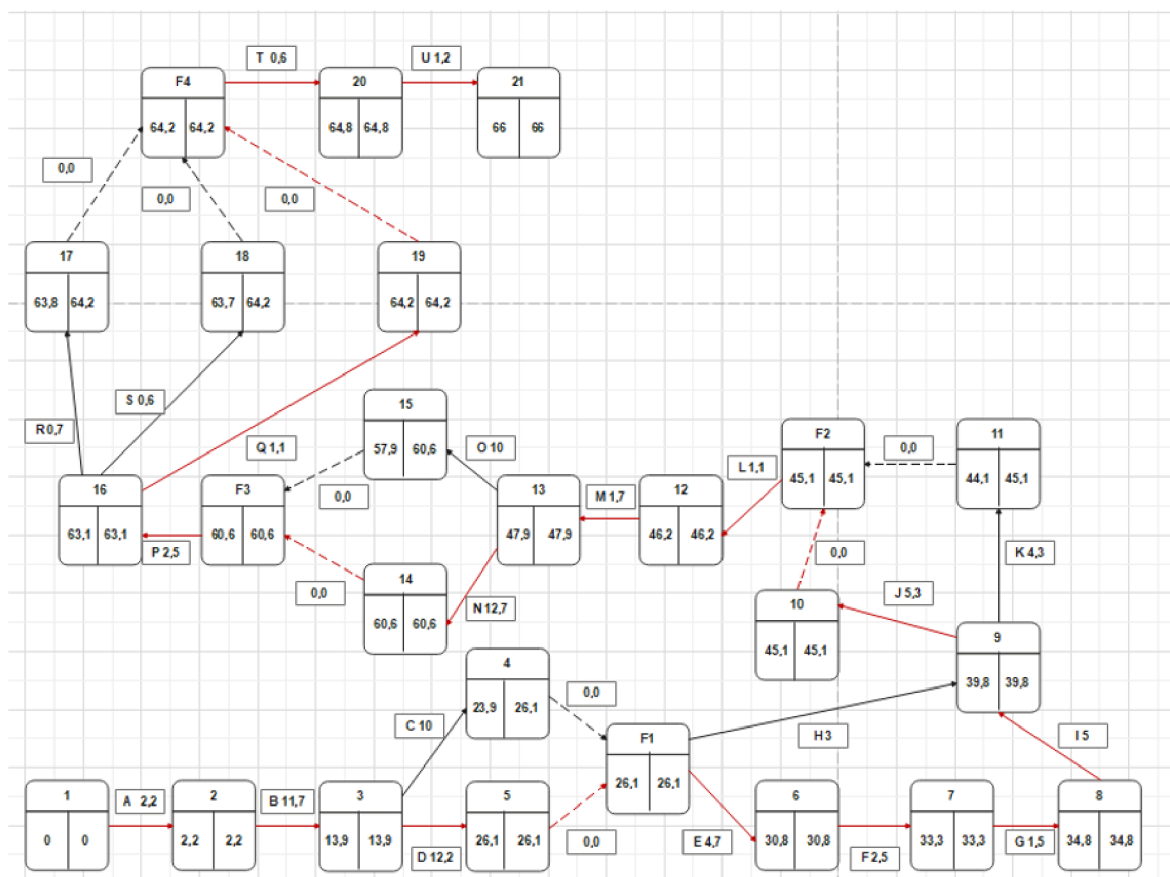
Zdroj: Vlastní zpracování

#### 4.3.5 Síťový graf

Údaje získané z Tabulky č. 6 nám pomohly sestavit síťový graf. Z grafu je možné vyčíst označení uzlu a délky trvání jednotlivých činností. Dále jsou uvedeny nejdříve možné začátky, nejpozději přípustné začátky, nejdříve možné konce a nejpozději přípustné konce jednotlivých činností.



Obrázek 14 Síťový graf PERT



Zdroj: Vlastní zpracování

Očekávaná kritická cesta prochází uzly 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 19, 20, 21.

Jedná se o následující činnosti:

Vstoupení smlouvy v platnost, schválení projektové dokumentace, schválení projektu a předání do realizace, demontáž původní technologie, odvoz stavební sutě, navezení stavebního materiálu, stavební úpravy, montáž potrubí a armatur, pokládka železobetonových desek, obnova betonové podlahy, dlažba, montáž tepelného čerpadla 2 ks, zkoušky, revize a uvedení do provozu, zpracování seznamu vad a nedodělků, podpis protokolu předání a převzetí díla, finanční vypořádání, prohlášení o shodě a záruční době.

Střední doba trvání projektu, tj. očekávaná doba je 66 pracovních dní. Rozptyl očekávané doby je 11,74.

#### 4.3.6 Identifikace kritické cesty

Kritická cesta se skládá z činností, které mají nulovou časovou rezervu. V síťovém grafu PERT je tato cesta znázorněna červenou čarou, v tabulce č. 7 jsou tyto činnosti označeny žlutě. Pokud sečteme délku trvání jednotlivých činností na kritické cestě, získáme očekávanou délku 66 pracovních dní, tj. 13,2 týdne.

Tabulka 7 Označení kritické cesty projektu

Označení činnosti	Odhady trvání činnosti			Střední doba trvání činnosti	Rozptyl činnosti
	$a_{ij}$	$m_{ij}$	$b_{ij}$	$\mu(t_{ij})$	$\sigma^2(t_{ij})$
A	1	2	4	2,2	0,25
B	7	12	15	11,7	1,78
C	5	10	15	10,0	2,78
D	5	12	20	12,2	6,25
E	2	5	6	4,7	0,44
F	2	2,5	3	2,5	0,03
G	1	1,5	2	1,5	0,03
H	1	3	5	3,0	0,44
I	3	5	7	5,0	0,44
J	4	5	8	5,3	0,44
K	3	4,5	5	4,3	0,11
L	0,5	1	2	1,1	0,06
M	1	1,5	3	1,7	0,11
N	10	12	18	12,7	1,78
O	8	10	12	10,0	0,44
P	2	2,5	3	2,5	0,03
Q	0,5	1	2	1,1	0,06
R	0,5	0,5	1,5	0,7	0,03
S	0,5	0,5	1	0,6	0,01
T	0,5	0,5	1	0,6	0,01
U	1	1	2	1,2	0,03

Zdroj: Vlastní zpracování

#### 4.3.7 Výpočet časových rezerv u všech činností

V tabulce č. 8 byly určeny rezervy jednotlivých činností projektu.

Tabulka 8 Výpočet časových rezerv

Označení činnosti	Výpočet časové rezervy $R_{Cij} = (T_j^{(1)} - T_i^{(0)}) - t_{ij}$	Celková časová rezerva (T)
A	2,2 - 0 - 2,2	0
B	13,9 - 2,2 - 11,7	0
C	26,1 - 13,9 - 10	2,2
D	26,1 - 13,9 - 12,2	0
E	30,8 - 26,1 - 4,7	0
F	33,3 - 30,8 - 2,5	0
G	34,8 - 33,3 - 1,5	0
H	39,8 - 26,1 - 3	10,7
I	39,8 - 34,8 - 5	0
J	45,1 - 39,8 - 5,3	0
K	45,1 - 39,8 - 4,3	1
L	46,2 - 45,1 - 1,1	0
M	47,9 - 46,2 - 1,7	0
N	60,6 - 47,9 - 12,7	0
O	60,6 - 47,9 - 10	2,7
P	63,1 - 60,6 - 2,5	0
Q	64,2 - 63,1 - 1,1	0
R	64,2 - 63,1 - 0,7	0,4
S	64,2 - 63,1 - 0,6	0,5
T	64,8 - 64,2 - 0,6	0
U	66 - 64,8 - 1,2	0

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro každou činnost byla vypočtena celková rezerva. Kritická cesta se skládá z činností s nulovou celkovou rezervou. Činnosti C, H, K, O, R a S mají celkovou rezervu v rozmezí 0,4 až 10,8. Vyčerpání této rezervy by mohlo ovlivnit celkovou délku projektu. Jedná se o následující činnosti: podpis protokolu o předání staveniště, doprava technologie, kabelů, potrubních dílů a armatur na staveniště, instalace elektrorozvodů, montáž elektrokotle, školení obsluhy a předání celkové technické dokumentace.

#### 4.4 Pravděpodobnostní analýza

Následně se výsledky časové analýzy zpracují pravděpodobnostní analýzou a vypočte se pravděpodobnost plánovaného termínu předání celého projektu a kritičnosti činností.

#### 4.4.1 Kritičnost činností

Tabulka 9 Pravděpodobnost kritičnosti činností

Činnost	$T_i^{(0)}$	$T_j^{(1)}$	$Y_{ij}$	$\sigma^2 T_i^{(0)}$	$\sigma^2 T_j^{(1)}$	$\sigma^2 Y_{ij}$	$u$	$\Phi(u)$
C	13,9	26,1	10,0	2,03	9,71	2,78	0,577	0,2843
H	26,1	39,8	3,0	8,28	3,46	0,44	3,066	0,0011
K	39,8	45,1	4,3	9,22	2,52	0,11	0,281	0,3897
O	47,9	60,6	10,0	9,83	1,91	0,44	0,774	0,2206
R	63,1	64,2	0,7	11,64	0,10	0,03	0,126	0,4483
S	63,1	64,2	0,6	11,64	0,10	0,01	0,151	0,4404

Zdroj: Vlastní zpracování

$T_i^0$  nejdříve možná doba trvání projektu v uzlu,

$T_j^1$  nejpozději přípustná doba trvání projektu v uzlu,

$u$  kvantil normovaného normálního rozdělení (normované PT)

$\Phi$  distribuční funkce náhodné veličiny  $T$

$\sigma^2$  rozptyl v uzlu

Tabulka č. 9 znázorňuje s jakou pravděpodobností se nekritická činnost stane činností kritickou. Pro výpočet byly použity hodnoty uvedené v síťovém grafu PERT (Příloha A), dále byl použit vzoreček č. 7. Hledaná pravděpodobnost bude hodnota distribuční funkce  $\Phi(u)$ , která se nalezne např. ve statistických tabulkách.

Nejvyšší pravděpodobnost, kdy se činnost nekritická může stát kritickou má činnost R a S, tj. školení obsluhy a předání kompletní technické specifikace. Naopak nejmenší pravděpodobnost má činnost H, tj. doprava technologie, kabelů, potrubních dílů a armatur na stavenišťě.

#### 4.4.2 Pravděpodobnost délky trvání projektu

Nejkratší délka očekávaného trvání projektu se rovná součtu všech očekávaných délek činností ležící na kritické cestě.

Nejkratší délka projektu se vypočte pomocí vzorce č. 3:

$$T = \sum_k T_e = 66$$

Rozptyl očekávané doby trvání projektu je roven součtu rozptylů činností ležících na kritické cestě. Vypočte se podle vzorce č. 5:

$$\sigma^2(T) = \sum_K \sigma^2 = 11,74$$

Směrodatná odchylka doby trvání celého projektu se vypočte podle vzorce č. 4 a je rovna:

$$\sigma(T) = \sqrt{\sum_K \sigma^2} = \text{sqrt}(11,74) = 3,43$$

Pokud se shrne výše uvedené, střední doba trvání projektu je 66 pracovních dní, rozptyl ( $\sigma^2$ ) je 11,74 a směrodatná ( $\sigma$ ) odchylka je 3,43. Dle harmonogramu prací, který je součástí Smlouvy o dílo má být dílo předáno nejpozději do 20 týdnů od předání staveniště, tj. do 100 pracovních dní.

Pravděpodobnost dokončení projektu do 100 pracovních dní se vypočte podle vzorce č. 6:

$$P(T \leq PT) = \Phi \left( \frac{100-66}{3,43} \right) = \Phi (9,91) = 1,00$$

Pravděpodobnost předání díla do 100 pracovních dnů se rovná 1. Z výše uvedeného vyplývá, že termín předání díla, která je smluvně potvrzený, je velmi komfortní. V úvahu přichází i plánovaná doba předání dokončení projektu 75 pracovních dní. Dále byla náhodně zvolena varianta předání dokončení projektu 60 pracovních dní.

Pravděpodobnost dokončení projektu se vypočte podle vzorce č. 6:

$$P(T \leq PT) = \Phi \left( \frac{75 - 66}{3,43} \right) = \Phi (2,62) = 0,99$$

Pravděpodobnost předání projektu do 75 pracovních dní se rovná 0,99.

$$P(T \leq 75) = \Phi\left(\frac{75 - 66}{3,43}\right) = \Phi(2,62) = 0,99$$

Pravděpodobnost předání projektu do 60 pracovních dní se rovná 0,04.

#### 4.4.3 Pravděpodobnost střední doby trvání projektu

S využitím pravidla tří sigma je možné odhadnout, v jakém termínu bude projekt dokončen s 68,27% pravděpodobností, tedy přičtením nebo odečtením jedné směrodatné odchylky, s 95,45% pravděpodobností, tedy přičtením nebo odečtením dvou směrodatných odchylek a s 99,73% pravděpodobností čili přičtením nebo odečtením tří směrodatných odchylek.

1. S 68,27% pravděpodobností bude projekt vyhotoven v termínu (66-3.43; 66+3.43), tedy ve 62.57 až 69.43 dnech.
2. S 95,45% pravděpodobností bude projekt vyhotoven v termínu (66-6.86; 66+6.86), tedy ve 59.14 až 72.86 dnech.
3. S 99,73% pravděpodobností bude projekt vyhotoven v termínu (66-10.29; 66+10.29), tedy ve 55.71 až 76.29 dnech.

#### 4.4.4 Zhodnocení projektu

Očekávaná kritická cesta prochází přes uzly 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 19, 20, 21. Konkrétně se jedná o činnosti - vstoupení smlouvy v platnost - schválení projektové dokumentace - schválení projektu a předání do realizace - demontáž původní technologie - odvoz stavební sutě - navezení stavebního materiálu - stavební úpravy - montáž potrubí a armatur - pokládka železobetonových desek - obnova betonové podlahy, dlažba - montáž tepelného čerpadla 2 ks - zkoušky, revize a uvedení do provozu - zpracování seznamu vad a nedodělků - podpis protokolu předání a převzetí díla - finanční vypořádání, prohlášení o shodě a záruční době.

Mezi nekritické činnosti se řadí podpis protokolu o předání staveniště, doprava technologie, kabelů, potrubních dílů a armatur na staveniště, instalace elektrorozvodů, montáž elektrokotle, školení obsluhy a předání celkové technické dokumentace.

Dle harmonogramu prací, který je součástí Smlouvy o dílo, má být projekt předán nejpozději do 20 týdnů od předání staveniště, tj. do 100 pracovních dní. Střední doba trvání činností na kritické cestě, tedy očekávaná délka, je 66 pracovních dní, tj. 13,2 týdne. Rozptyl očekávané doby trvání projektu je 11,74.

Podle výpočtů bude projekt předán do 20 týdnů se 100% pravděpodobností. Byl proveden výpočet pro plánovanou dobu 75 pracovních dní. Pravděpodobnost předání projektu zákazníkovi v tomto případě je 0,99.

Pravděpodobnost, kdy se nekritické činnosti mohou stát kritickými, je nejvyšší u činnosti R a S, tj. školení obsluhy a předání kompletní technické specifikace. Naopak nejmenší pravděpodobnost má činnost H, tj. doprava technologie, kabelů, potrubních dílů a armatur na staveniště.

Pokud firma bude realizovat činnosti dle navrženého řešení, bude projekt předán s dostatečným předstihem. Zaslouhou výrazně kratší doby realizace by mělo dojít i k úspoře finančních nákladů projektu. Ke zkrácení doby realizace projektu pomohlo včasné dodání technologie a veškerého materiálu na stavbu, a to hned v samém začátku realizace. Důvodem tohoto rozhodnutí byla nejistá situace na trhu, dlouhé dodací lhůty a růst nákupních cen. Dalším rozhodnutím, které vedlo ke zkrácení celkové doby rekonstrukce, bylo paralelní načasování některých činností, pokud tomu charakter dané činnosti dovozoval. Jedná se například o montáž potrubí a armatur spolu s instalací elektro rozvodů.

## 5 Závěr

Bakalářská práce zpracovává teoretickou a praktickou část problematiky časové analýzy. Teoretická část obsahuje definice jednotlivých pojmů k projektovému řízení a časové analýze, a to včetně následně použitých vzorců. Definiuje, co je projekt, jeho cíle, nástroje a metody projektového řízení. Dále se práce zaměřuje na životní cyklus projektu a jeho fáze, řízení času v projektu a hierarchickou strukturu činností WBS. Další teoretickou částí jsou síťové grafy, metody CPM, PERT a vysvětlení pojmu kritická cesta. Praktická část se zabývá konkrétním projektem a jeho stručným představením, a to včetně jednotlivých činností. Následně je na tomto konkrétním projektu za pomoci metod projektového řízení provedena časová analýza.

Nejprve byly definovány potřebné činnosti a ty seřazeny do WBS diagramu. Následně byla jednotlivým činnostem přiřazena doba jejich trvání a pomocí stochastické metody PERT vypočtena střední hodnota trvání jednotlivých činností a možná odchylka od této hodnoty. Pro grafické znázornění vztahů mezi jednotlivými činnostmi byl sestaven síťový graf, zde byla červeně vyznačena kritická cesta. Sečtením hodnot délek trvání činností předpokládané kritické cesty byla vypočtena očekávaná délka trvání projektu a to 66 pracovních dní, tj 13,2 týdne. Dále bylo pomocí pravidla tří sigma odhadnuto, že s 99,73% pravděpodobností bude projekt hotov v termínu 55,71 až 76,29 pracovních dní.

Realizace rekonstrukce elektrokotelny přinese dané firmě do budoucna snížení energetické náročnosti jejich budovy, tím snížení nákladů za energie a to cestou, která je šetrná k životnímu prostředí. V současné době nestabilních cen je tepelné čerpadlo ideální volba pro ušetření energie. V neposlední řadě nabízí realizace tohoto projektu přechod na automatický a jednoduchý provoz.

Přínosem využití metody PERT je možnost výrazně kratší doby rekonstrukce oproti původně očekávaným a zasmluvněným 20 týdnům. Vzniká nám tak časový prostor pro případ nenadálých událostí, které mohou rekonstrukci zdržet. Metoda PERT nám dále umožňuje lépe kontrolovat termíny jednotlivých činností a tím eliminovat rizika spojená s opomenutím některého milníku, což by mohlo mít výrazný dopad na úspěšné předání projektu v čase a kvalitě, která odpovídá Smlouvě o dílo.



## 6 Seznam použitých zdrojů

DOLEŽAL, Jan, Jiří KRÁTKÝ a Ondřej CINGL. *5 kroků k úspěšnému projektu: 22 šablon klíčových dokumentů a 3 kompletní reálné projekty*. Praha: Grada, 2013. Management (Grada). ISBN 978-80-247-4631-9.

DOLEŽAL, Jan, Pavel MÁCHAL a Branislav LACKO. *Projektový management podle IPMA. 2., aktualiz. a dopl. vyd.* Praha: Grada, 2012. Expert (Grada). ISBN 9788024742755.

DOLEŽAL, Jan. *Projektový management: komplexně, prakticky a podle světových standardů*. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 9788024756202.

DOSKOČIL, Radek. *Metody, techniky a nástroje řízení projektů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-863-2.

FIALA, Petr. *Projektové řízení: modely, metody, řízení*. Praha: Professional Publishing, 2004. ISBN 9788086419244.

FIALA, Petr. *Řízení projektů*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Oeconomica, 2008. ISBN 978-80-245-1413-0.

KERZNER, Harold. *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. 10th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley, c2009. ISBN 978-0-470-27870-3.

ROSENAU, Milton D. *Řízení projektů*. Vyd. 3. Přeložil Eva BRUMOVSKÁ. Brno: Computer Press, c2007. ISBN 978-80-251-1506-0.

SVOZILOVÁ, Alena. *Projektový management: systémový přístup k řízení projektů*. 3., aktualizované a rozšířené vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-271-0075-0.

*Www.stiebel-eltron.cz* [online]. [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <https://www.stiebel-eltron.cz/>

ŠUBRT, Tomáš a Pavlína LANGROVÁ. *Projektové řízení I*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta, 2013. ISBN 978-80-213-1194-7.

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

## 7 Seznam obrázků, tabulek, zkratk a příloh

### 7.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Základny projektového managementu .....	16
Obrázek 2 Trojimperativ projektu .....	16
Obrázek 3 Životní cyklus projektu .....	21
Obrázek 4 Typické rozložení fází životního cyklu projektu.....	22
Obrázek 5 Podrobný rozpis prací jako základna pro sestavení dalších projektových dokumentů .....	23
Obrázek 6 Uzlově definovaný síťový graf.....	25
Obrázek 7 Hranově definovaný síťový graf .....	25
Obrázek 8 Způsob výpočtu nejpravděpodobnější doby trvání činností.....	28
Obrázek 9 Typické průběhy funkce hustoty pravděpodobnosti beta rozdělení .....	29
Obrázek 10 Příklad PERT diagramu .....	29
Obrázek 11 Tepelné čerpadlo země-voda WPF 40 .....	33
Obrázek 12 Systém fungování tepelného čerpadla země - voda .....	34
Obrázek 13 Hierarchická struktura WBS .....	38
Obrázek 14 Síťový graf PERT.....	41

### 7.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Logický rámec .....	18
Tabulka 2 Modely a metody řízení projektů.....	26
Tabulka 3 Doporučené hodnoty pravděpodobností pro hodnocení stochastických síťových grafů .....	31
Tabulka 4Definování činností a jejich následnost .....	37
Tabulka 5 Odhad trvání činností (pracovní dny) .....	39
Tabulka 6 Střední doba trvání a rozptyly jednotlivých činností .....	40
Tabulka 7 Označení kritické cesty projektu .....	42
Tabulka 8 Výpočet časových rezerv .....	43
Tabulka 9 Pravděpodobnost kritičnosti činností.....	44

### **7.3 Seznam použitých zkratk**

BOZP - Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

CPM - Critical path method

$E(T)$  - Střední doba trvání celého projektu (očekávaný termín realizace celého projektu)

MaR - Měření a regulace

PERT - Program evaluation review

$PT$  - Plánovaný termín ukončení celého projektu

$T$  - Doba trvání celého projektu,

$\Phi$  - Distribuční funkce náhodné veličiny  $T$

WBS - Work breakdown structur

### **7.4 Seznam příloh**

Příloha A Síťový graf PERT

I

Příloha A – Síťový graf PERT

