

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH
BUDĚJOVICÍCH**

EKONOMICKÁ FAKULTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2013

Jaroslav Šefrámek

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH
BUDĚJOVICÍCH**

EKONOMICKÁ FAKULTA

Katedra aplikované matematiky a informatiky

Studijní program: N6208 Ekonomika a management

Studijní obor: Obchodní podnikání

**Plánování a řízení projektu – možnost
uplatnění simulační techniky**

Vedoucí diplomové práce

Ing. Jana Friebešová, Ph.D.

Autor

Jaroslav Šefráník

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Ekonomickou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 20.4.2013

Jaroslav Šefránek

Poděkování

Děkuji vedoucí práce paní Ing. Janě Friebelové, Ph.D.

Současně děkuji Správě železniční dopravní cesty.

Obsah

1. ÚVOD.....	1
2. Teoretická část – Literární rešerše.....	3
2.1 Projektový management.....	3
2.2.1 Projektový management obecně.....	3
2.2.2 Projektový management ve stavebnictví.....	5
2.2 Riziko v projektovém managementu.....	8
2.2.1 Management rizik obecně.....	8
2.2.2 Management rizik ve stavebnictví.....	10
2.3 Exaktní nástroje využívané v projektovém managementu.....	18
2.2.1 Modelování.....	18
2.2.2 Metody projektového řízení.....	21
2.2.3 Síťová analýza.....	22
2.2.4 Metody síťové analýzy.....	23
2.2.5 Metoda CPM.....	24
2.2.6 Metoda PERT.....	28
2.4 Simulace a její uplatnění.....	31
2.2.1 Pravděpodobnostní rozdělení.....	33
2.2.2 Kritičnost činností.....	37
2.2.3 Korelace.....	38
2.2.4 Regrese.....	39
2.2.5 Test na shodu s teoretickým rozdělením.....	39
2.5 Software pro využití v projektovém managementu.....	40
3. Cíl, Metodika.....	44
4. Aplikační část.....	45
4.1 Popis projektu Modernizace Trati ČB-Nemanice.....	45
4.2 Analýza projektu Modernizace trati ČB – Nemanice.....	49
4.2.1 Aplikace CPM metody.....	50
4.2.2 Aplikace metody PERT.....	53
4.2.3 Simulační model s využitím trojúhelníkového rozdělení.....	55
4.2.4 Zjištění kritičnosti činností.....	61
4.3 Syntetická část.....	68
5. Závěr.....	71
6. Summary.....	1
7. Přehled použité literatury.....	3

1. ÚVOD

Věda je systematický způsob poznávání skutečnosti. Každé poznání vychází z pozorování, experimentu. Je to soubor tvrzení a objektivních vět o určité zkoumané oblasti. Oblastí je každá skutečnost, která je bezprostředně uchopitelná, nebo definovaná pomocí různých prostředků. Mezi tyto prostředky lze řadit i kvantitativní časově-prostorové vztahy. Tyto vztahy je možné pojmenovat, jako druh soustavné, kritické a metodické činnosti snažící se o objektivní pojmenování vymezené skutečnosti.

Věda a vědecký výzkum je tedy proces hledání objektivní pravdy. Věda se navzájem liší předmětem a metodou. Z historického hlediska byla věda dělena podle principů, předmětu zkoumání a v současnosti podle metody vědy. Současné dělení rozlišuje cíle matematické, přírodní a humanitní. Matematika, přírodní a humanitní vědy mají své vlastní prostředky - poznání, pozorování, analýza, syntéza, indukce, dedukce, deskripce a komparace. Matematika umožňuje vztahy zkoumat dle kvantity, struktury, prostoru, nebo změny. Výhodou Matematiky je její přesnost a nezpochybnitelnost. Stejně jako v jiných vědách zde existuje formulace hypotézy a její metody dokázání, či vyvrácení, snažící se nacházet odpovědi na otázky. Přínos matematiky se odráží v ostatních vědách, využívá ho například ekonomie. Ekonomie je často definována, jako věda zabývající se účelným lidským jednáním ve světě neomezených potřeb a omezených zdrojů.

Pro konkrétní pojmenování dějů v ekonomii ve vztahu k matematice se nejčastěji používá aplikované matematiky, která pomáhá za použití vhodného matematického oboru řešit praktické otázky. Odvětví aplikované matematiky je často spojováno se statistickou matematikou. Díky rozvoji vědních oborů statistické matematiky je možné se velmi přiblížit objektivní pravdě. Pomocí teorie pravděpodobnosti, analýze a předpovídání jevů dostalo lidské poznání nový rozměr.

Matematická statistika si klade za cíl najít nejvhodnější informace z dostupných dat, proto je autory často nazývána, jako teorie rozhodování. Není divu, že díky stále se zvyšujícímu tlaku na využití omezených zdrojů a uspokojování rostoucích potřeb si statistika našla využití i v oboru ekonomie, jako je řízení. V každém procesu i v řízení je úkolem naplnění cíle. Těmito cíli se rozumí dosáhnout určitého stavu, pozitivní změnou, nebo vytvořením hodnoty. Primárně dosažení cílů znamená uspokojení lidských potřeb. Přeneseno do roviny ekonomie, řízení, jako proces, má napomoci dosáhnout ekonomického prospěchu, zisku. K dosažení cílů v řízení postupně vykrystalizoval systém nástrojů a postupů těžící z širokého vědeckého potenciál. V době technického pokroku neznámá využití statistiky v řízení žádnou překážku.

Pomocí počítačů a příslušného softwaru lze simulovat abstraktní model určitého systému. V matematice se použitá metoda experimentující s modely nazývá simulace. Úkolem simulačního softwaru je zjistit chování systému na základě vstupních dat. Software provádí opakované experimenty s cílem zajistit výsledky a najít optimální řešení problému. Cokoliv lze popsat lze i simulovat. Popis znamená segmentaci jevu na jednotlivé prvky, mezi nimiž lze najít vztahy, přiřadit jim hodnoty či pravidla jejich chování. Počítač tak simuluje realitu, která je založena na poznání skutečného světa a sama o sobě vytváří jednodušší a dokonalejší svět. Zprostředkované poznání může nabývat dojmů absolutní pravdy, tedy nekonečné platnosti stanovených zákonů. Tyto zákony mohou popisovat spíše ideální svět než realitu. Kromě různých nástrojů je důležitý i kritický přístup.

Předmětem práce je použití simulačního softwaru v projektovém řízení. Záměrem je vyhodnotit stav konkrétního investičního projektu Modernizace trati ČB - Nemanice za použití všech nashromážděných informací. Zajistit dostatečný prostor pro rozhodování v oblasti řízení projektu. Nastínit možný scénář řešení vyplývající s výsledků analýzy. Zhodnotit přínos analýzy.

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou část, která má představit stochastický přístup v plánování a řízení projektů, určit jeho postavení v matematických metodách projektového managementu a uvést použitý simulační program. Praktická část je věnována analýze vybraného projektu, syntéze výsledků a návržení vhodné strategie.

2. Teoretická část – Literární rešerše

2.1 *Projektový management*

2.2.1 Projektový management obecně

Projektové řízení je způsob, jakým jsou dosahovány cíle projektu. Oblast řízení je zaměřena na efektivnost procesů. Kvalitnější řízení je schopno eliminovat chyby vznikající při organizaci projektu pomocí strategií a metod a jak dále uvádí J. Doležal a kol.: „ Je třeba vnímat, že projektové řízení neznamena jen používání metod a technik, byt' ty základní by měl znát projektový manažer. Projektové řízení znamená především určitou filozofii a styl práce, určitý způsob myšlení.“¹

Užití projektového managementu vidí A. Svozilová u společností, jejichž činnost se skládá z procesů s omezenou dobou trvání a dočasným držním zdrojů. Společnosti rozděluje na dva typy:

- **Generující své výkony formou projektů:** Tyto společnosti realizují svou činnost na bázi kontraktu. Jedná se o firmy podnikající v oblastech stavebnictví a dodávek specializovaných technologických celků, informačních technologiích, konzultační společnosti atd.
- **Aplikující projektové řízení jako metodu řízení vnitřních operací:** Běžně se vyskytuje pro řízení vývoje nových produktů, produktový marketing, investiční činnosti, zavádění změn a inovací

¹ DOLEŽAL, Jan et al. *Projektový management podle IPMA*. Praha: Grada Publishing a. s., 2009. ISBN 978-80-247-2848-3.

Projekt

„Projekt nikdy není zcela samostatný a osamocený. Jedná se o určitý systém, který má své hranice, vnitřní vazby a také definované vazby s okolím – kontextem projektu. Tyto vazby s okolím mohou být pozitivní i rušivé, negativní. Jejich včasné předvídání a systematické monitorování je významným kritériem úspěšnosti projektu.“²

Časově ohraničené úsilí vedoucí k vytvoření produktu, nebo služby. Projekt by měl být organizačně zajištěn v průběhu celého jeho životního cyklu. I. Gross v publikaci Kvantitativní metody v manažerském rozhodování dodává, že musí jít o akce, které jsou časově a věcně ohraničené.

Projekt je ovlivněn:

- **Původ projektu:** Druh činnosti, potřeba informací o projektu a jeho pozadí.
- **Výstup projektu:** Klasifikace projektu na hmotný a nehmotný projekt. Jde o plnění úkolů, které končí dosažením přesně stanoveného výstupu.
- **Trh:** Projekty lze rozdělit podle zdroje financování.

Projektový management se dle Doležal J., Máchal P., Lacko B. a kol. soustřeďuje:

- **Cíle:** Cílem projektu je vytvořit odsouhlasené koncové výsledky, zejména výstupy (dodávky) v požadovaném časovém rámci, v rámci daného rozpočtu a v rámci akceptovatelných parametrů rizik. V souvislosti s cíly projektu jsou nejčastěji zmiňovány pojmy SMART cíl a Trojimperativ zabývající se realizací projektu.
- **Strategie:** Strategie je pohled z vyšší úrovně na způsob, kterým budou dosaženy vize/cíle organizace v určitém bodě v budoucnu. Strategie se reviduje jednak v různých časových intervalech (např. dle životních cyklů systémů, dle životního cyklu projektu a v každé z fází, nebo etap projektu) a jednak v určitých specifických oblastech

² DOLEŽAL, Jan et al. *Projektový management podle IPMA*. Praha: Grada Publishing a. s., 2009. ISBN 978-80-247-2848-3.

- **Rizika a příležitosti:** Proces odehrávající se ve všech fázích a po celou dobu trvání projektu. V publikaci *Projektový management* jsou, jako oblasti řízení rizik a příležitostí uvedeny plány odezvy na neočekávatelné události, očekávaná peněžní hodnota, kvantitativní nástroje a metody odhadů rizika, analýza SWOT, plánování scénářů apod.
- **Řešení Problémů:** Převážná většina problému, které v projektu vznikají, se týká časového vymezení, nákladů, rizik nebo výstupů (dodávek) projektu, nebo vzájemného působení mezi těmito čtyřmi faktory. Možnosti řešení zahrnují v první řadě snížení rozsahu výstupů projektu, prodloužení časového rámce, nebo zajištění dalších zdrojů.
- **Struktury v projektu:** Činnosti vedoucí k uskutečnění projektu jsou definovány, jako problémy. Podstatou strukturování je rozdělení problému do menších lépe zvládnutelných celků se vzájemnými vazbami. Jednotlivé celky jsou hierarchicky rozděleny do systémů typu: trvalá organizace, portfolio, program, podprogram, komplexní projekt, část komplexního projektu, etapa projektu, souhrnné činnosti, úkoly atd.
- **Čas a fáze projektu:** Pojem čas v projektu zahrnuje strukturalizace, řazení, trvání, odhady a časové rozvržení činností a to včetně přiřazování zdrojů činnostem, stanovování koncových termínů, monitoringu a controllingu jejich vykonání ve stanoveném čase. I. Gross popisuje s ohledem časového faktoru délku kritické cesty, jako nejkratší možný termín dokončení projektu. Fáze projektu je definována, jako časový úsek v posloupnosti činností projektu, který je zřetelně oddělen od ostatních úseků.

2.2.2 Projektový management ve stavebnictví

„Ve stavebnictví projektový management obstarává činnosti související s přípravou a realizací stavby. V průběhu přípravy stavby se soustřeďuje na proces územního řízení a stavebního řízení. Podílí se na zajištění projektové dokumentace. Aktivně se účastní zpracování projektové dokumentace např. doporučením systému výstavby. Pro klienta zajišťuje výběrová řízení, podává návrh smluvních vztahů. Je nositelem koordinace, kontroluje plnění harmonogramu. Zajišťuje cost management. Před dokončením stavby se účastní zkoušek a revizí. Je účasten na kolaudaci stavby a na jejím předání do užívání. Zabezpečuje závěrečné vyhodnocení stavby.“³

³ TICHÝ, Milík. *Projekty a zakázky ve výstavbě*. Praha: C.H.Beck, 2008. ISBN 978-80-7400-009-6.

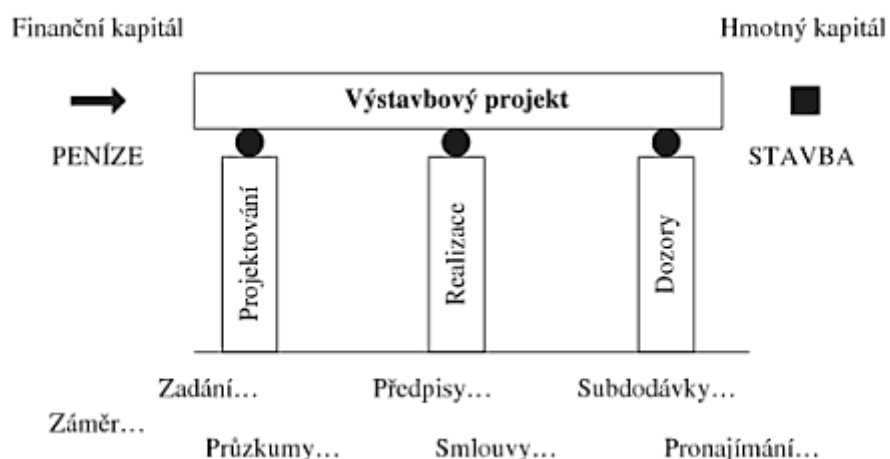
Výstavbový projekt

„Výstavbový projekt je tedy časově a prostorově vymezený souhrn činností, navzájem propojených a tvořících ucelený systém, zaměřený na dosažení specifikovaného cíle. Konkrétněji se dá říci, že výstavbový projekt je soubor činností směřující k převodu finančního kapitálu (peněz nebo jiných finančních prostředků) na hmotný kapitál (stavbu).“⁴

Projektování

Milík Tichý, autor knihy *Projekty a zakázky ve výstavbě*, vidí projektování, jako jeden z nejdůležitějších pilířů řízení ve stavebnictví. Projektování je úzce spjato s projektovou dokumentací. Kvalita projektování podle Tichého může ovlivnit úspěch celého projektu.

Obrázek 1: Tři pilíře výstavbového projektu



Zdroj: *Projekty a zakázky ve výstavbě*

Projektování se dle Tichého rozděluje do dvou okruhů:

- **Návrh stavby:** Rozumí architektonické řešení vnějšího i vnitřního standardu vybavení, systému technických zařízení apod.
- **Vlastní projektování:** Je zhmotněním návrhu stavby do takového tvaru, aby bylo možné na jeho základě stanovit nabídkovou cenu a stavět.

⁴ NĚMEC, Vladimír. *Projektový management*. Praha: Grada Publishing a. s., 2002. ISBN 8024703920.

Řízení a realizace

K naplnění cílů projektování je zapotřebí přejít k samotné realizaci projektu.

Řízení realizace se dle Tichého skládá z:

- Zásad
- Stavenišť
- Administrativy řízení realizace
- Kontrolních dnů
- Deníků
- Dokumentace skutečného provedení stavby
- Předávání a přejímání stavby
- Reklamace a claimingu

Projektová dokumentace

Projektovou dokumentaci popisuje Vladimír Němec v knize *Projektový management*: „Obecně můžeme říci, že obsah, rozsah a hloubka zpracování projektové dokumentace závisí na poslání, které má v jednotlivých fázích přípravy a realizace projektu. Pokud jde konkrétně o dokumentaci staveb, budou na ni jiné nároky pro územní řízení, jiné pro stavební řízení a stavební povolení, podrobnější musí být realizační dokumentace, podle níž se uzavírají dodavatelské smlouvy atd.“⁵

⁵ NĚMEC, Vladimír. *Projektový management*. Praha: Grada Publishing a. s., 2002. ISBN 8024703920.

Staveniště

Staveniště Tichý charakterizuje: „Je to prostor, kde bude probíhat realizace stavby. Staveništěm může být tedy vymezená plocha na zastavovaném pozemku, plocha střechy domu, na níž se bude realizovat nástavba (včetně zvedacích prostředků a dočasných záborů na přilehlých prostorách, na které se bude budovat nástavba), celá rekonstruovaná budova s příslušenstvím (dvorkem, předzahrádkou), v níž probíhají stavební práce.“⁶ Tichý dále doplňuje, že k organizačnímu zajištění patří také zařízení staveniště, jedná se o technické a elektronické vybavení.

2.2 Riziko v projektovém managementu

2.2.1 Management rizik obecně

Řízení rizik a příležitostí

„Řízení rizik a příležitostí je neustálý proces, který se odehrává v průběhu všech fází životního cyklu projektu, od počátečního nápadu až po ukončení projektu. Znalosti týkající se zařízení rizik a příležitostí zkompletované při ukončení projektu pak následně významně přispívají k úspěchu budoucích projektů“⁷, tvrdí Doležal a kol. v publikaci *Projektový management podle IPMA*.

Riziko

Riziko definuje Korecký a Trkovský v *Managementu rizik projektů* jako: „Jakákoli nejistota, která pokud se vyskytne, může mít pozitivní nebo negativní účinek na dosažení jednoho nebo více cílů. Rizika zahrnují jak hrozby, tak příležitosti. Riziko v projektech zahrnuje jak individuální rizikové události, tak i celkové riziko projektu.“⁸

⁶ TICHÝ, Milík. *Projekty a zakázky ve výstavbě*. Praha: C.H.Beck, 2008. ISBN 978-80-7400-009-6.

⁷ DOLEŽAL, Jan et al. *Projektový management podle IPMA*. Praha: Grada Publishing a. s., 2009. ISBN 978-80-247-2848-3.

⁸ KORECKÝ, Michal a Václav TRKOVSKÝ. *Management rizik projektů: se zaměřením na projekty v průmyslových podnicích*. Praha: Grada Publishing a. s., 2011. ISBN 978-80-247-2848-3.

Projektový management se dle J. Doležala a kol zabývá:

- **Identifikací rizik:** V této části se nejčastěji používá metoda brainstormingu. Firmy často zpracovávají seznam nebezpečí na základě vyhodnocení minulých projektů. V těchto případech často projektové týmy ocení statistiky pořízené a vytvářené na základě vyhodnocení dříve realizovaných projektů.

- **Analýzou rizik:** Využívá expertních odhadů s hodnotami pravděpodobností. Pokud nejsou k dispozici tabulky, lze využít například pravděpodobností některých jevů počasí z meteorologických přehledů. Z místních hygienicko-epidemiologické stanice lze určit pravděpodobnost onemocnění určitého počtu zákazníků chřipkou apod.
 - Kvantitativní, když určíme hodnotu pravděpodobnosti a hodnotu ztráty přímo číselnou hodnotou
 - kvalitativní, když použijeme pro stanovení pravděpodobnosti a ztráty slovní hodnoty (popsané např: velký, střední, malý dopad)

- **Hodnocením rizik:** Účelem tohoto kroku je rozhodnout, která rizika mají být ošetřena, která budou zanedbána nebo která nelze akceptovat. Obecně se dá doporučit vycházet z paretovského principu 80/20. Tedy 20 % nejvýznamnějších rizik velmi dobře ošetřit, třeba i většinou prostředků na ošetření rizik a zbylé prostředky ponechat jako rezervu.

- **Ošetřením rizik:**
 - Nepříznivou událost pojistit (přenést riziko)
 - Zmírnit riziko (snížit hodnotu rizika) tím, že navrhne opatření, které by snížilo např. velikost dopadu nepříznivé události na projekt nebo změnilo hodnotu pravděpodobnosti očekávané nepříznivé události
 - Vyloučit riziko nalezením jiného řešení, které rizikovou událost neobsahuje.
 - Vytvořit si rezervu (časovou, nákladovou nebo ve velikosti kritického zdroje), která nám umožní nepříznivou událost kompenzovat
 - Vytvořit záložní plán B pro případ, že riziko nastane.

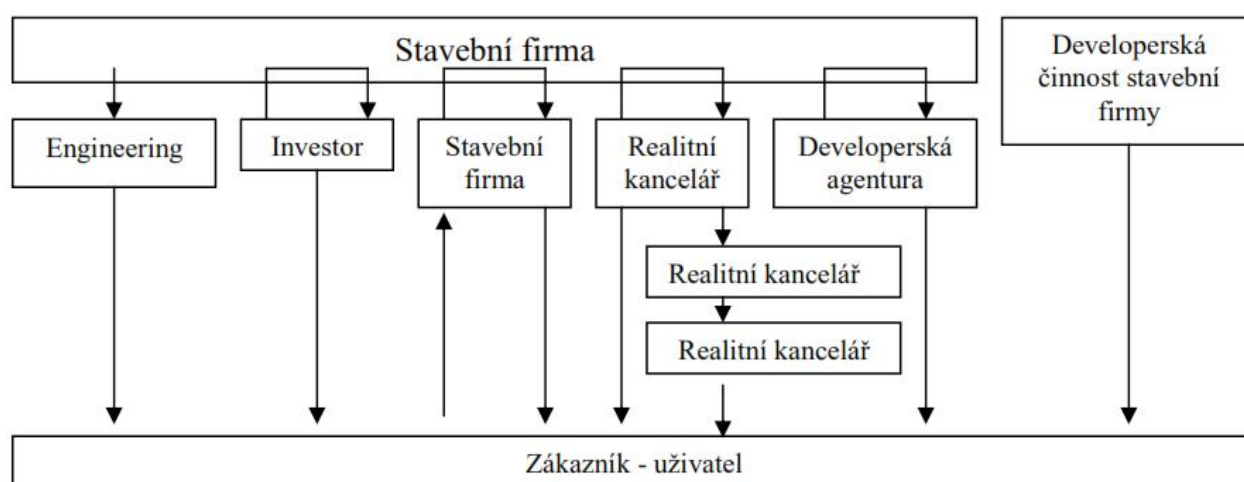
- **Monitorováním a přezkoumáváním:** Po implementaci plánu je třeba rizika dále sledovat, protože se mohou změnit podmínky ovlivňující hodnotu škody u některého rizika. Může vzniknout nová hrozba. Zjistí se, že je třeba přehodnotit scénář apod.
- **Komunikací a konzultací:** Je prováděna projektovým týmem. Snaží se maximalizovat efektivnost projektového řízení.

2.2.2 Management rizik ve stavebnictví

„Cílem řízení rizik ve stavebnictví je vytvořit klasifikaci zdrojů podstatných rizik, určení situací, které mohou vyvolat, a poskytnout řešení těchto situací. Některým rizikům nelze předcházet, ale minimalizovat je, nikoliv však vyloučit.“⁹

V projektu, vystupuje řada subjektů. Jsou to jednak investoři, zhotovitelé, ale i výrobci stavebních hmot, výrobci a prodejci stavebních zařízení a strojů, poradenské kanceláře, prodejci nemovitostí aj. Pro představu může posloužit následující obrázek.

Obrázek 2: Subjekty vystupující ve stavebních projektech

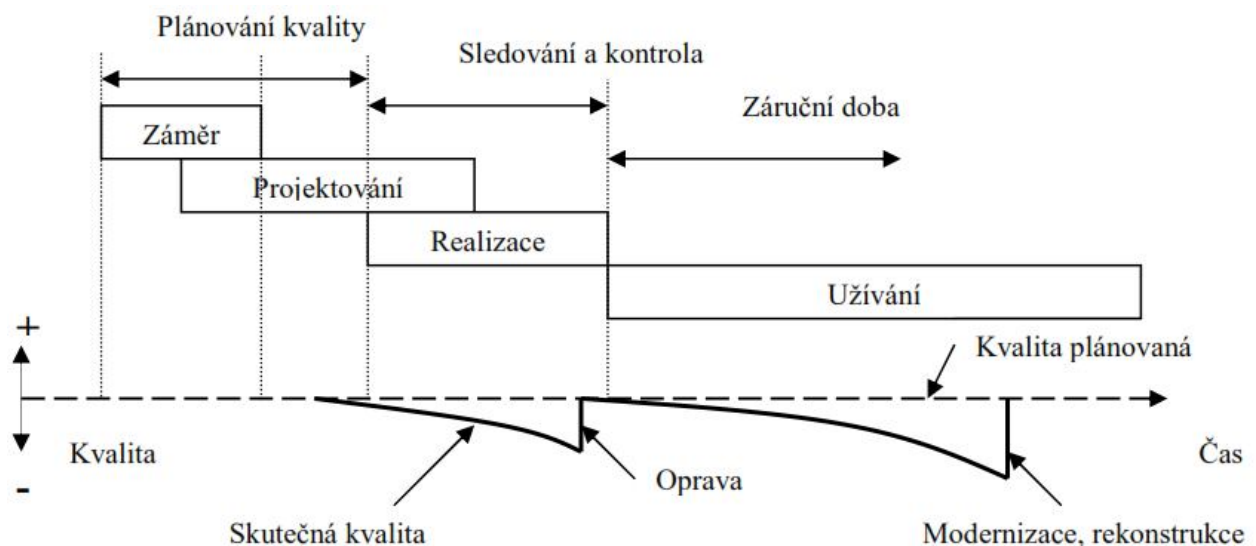


Zdroj: NOVOTNÝ, M. - *Stavebnictví – riziková oblast podnikání*

⁹ PLITCHARD, Carl L. *Risk Management: Concepts and Guidance*. 4. vyd. Virginia: Esi International, 2010. ISBN 1890367559.

Každý ze subjektů vnímá rizika rozdílně. Investor stavbu vnímá s cílem dosáhnout zisk, prodejem, pronájmem, užíváním. Investor do stavby na rozdíl od zhotovitele investuje v různých fázích životního cyklu stavby, od počáteční myšlenky, až do její likvidace. Zhotovitel, stavební firma, vnímá stavbu, jako prostředek zisku, od jejího nabídnutí až po skončení realizace. Investor dbá na maximální kvalitu za minimální cenu. Zhotovitel na maximální zisk z jím poskytnuté činnosti a splnění předem stanovených podmínek mezi jím a investorem. Zhotovitel sám nikdy nezlepšuje kvalitu, protože by se to odrazilo v jeho nákladech. Průběh skutečné kvality v rámci jednotlivých procesů projektu zobrazuje obrázek č. 3. Obrázek vyjadřuje, v jakých fázích se mění úroveň kvality v průběhu času.

Obrázek 3: Etapy projektu v závislosti na čase



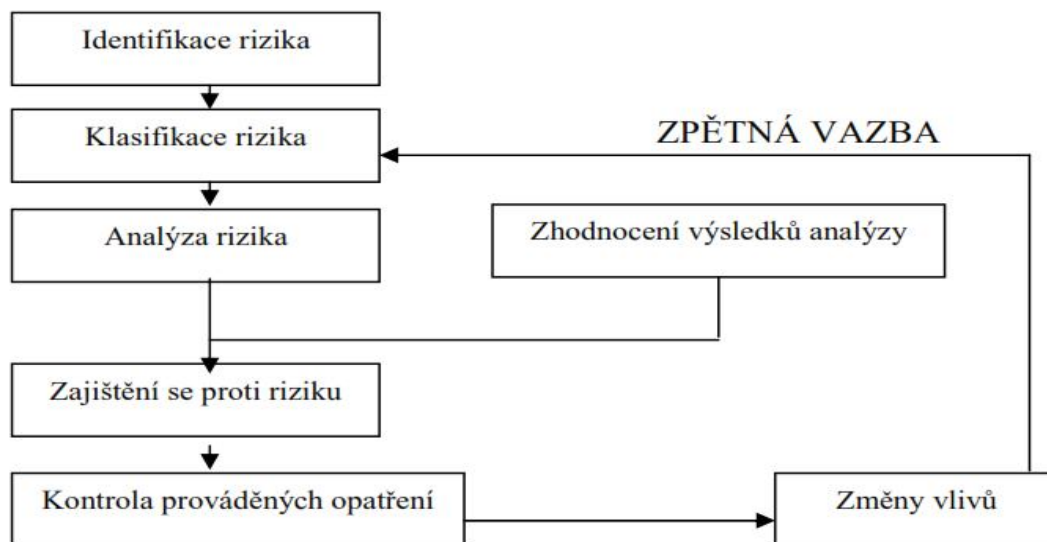
Zdroj: NOVOTNÝ, M. - *Stavebnictví – riziková oblast podnikání*

Rizika zainteresovaných subjektů uvedená C. L. Pritchardem lze obecně definovat na:

- Rizika, která lze vyloučit
- Rizika, které je možno pojistit
- Rizika, proti kterým je nutno vytvořit rezervy

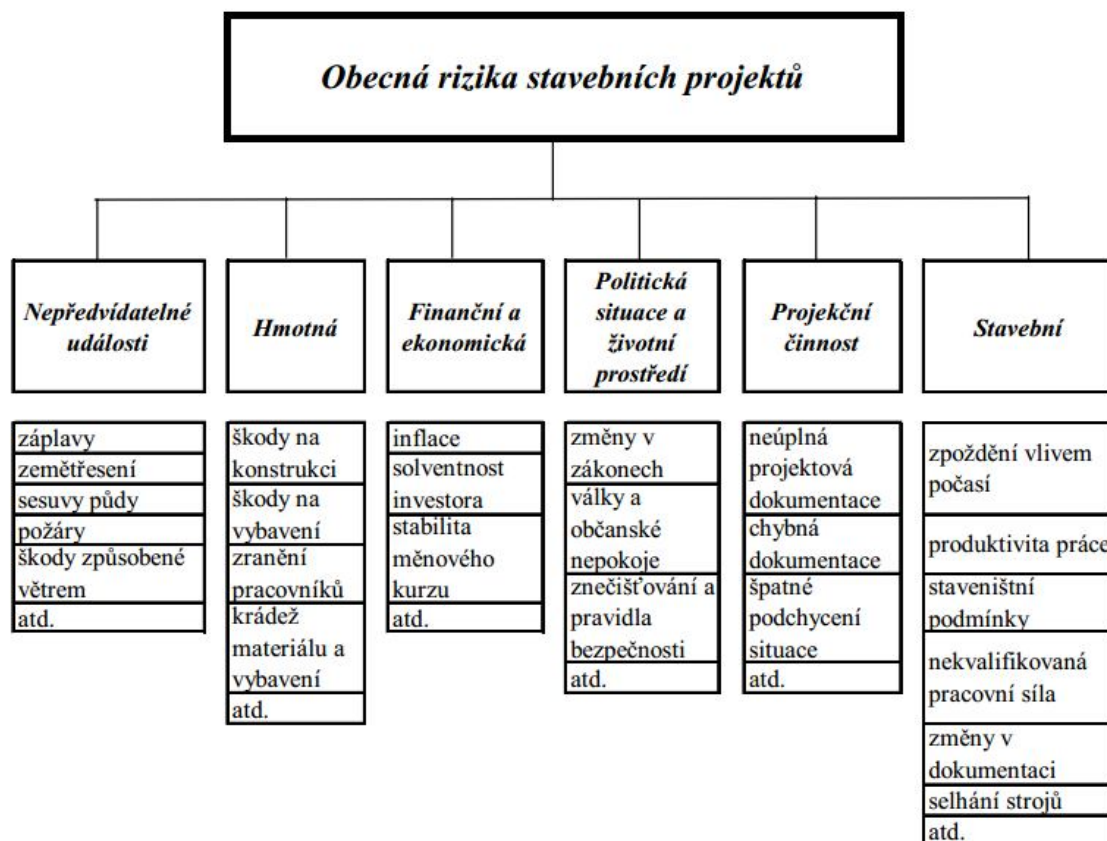
Podrobný proces, který je při uskutečnění projektu, nutno zhodnotit, představuje následující obr. č. 4

Obrázek 4: Řízení rizik



Zdroj: NOVOTNÝ, M. - *Stavebnictví – riziková oblast podnikání*

Obrázek 5: Obecná rizika stavebních projektů



Zdroj: Korecký, Trkovský – Management rizik projektů

Investor se snaží předcházet rizikům v průběhu životního cyklu projektu. C. Plitchard uvádí tyto fáze projektu:

- Rizika ve fázi záměru a projektování
- Rizika ve fázi realizace
- Rizika užívání
- Rizika likvidace

Fáze záměru a projektování

„Na začátku této fáze je vytvářena právní, organizační a finanční základna pro řešení projektu. Investor navazuje kontakt s technickým dozorem a provádí jednotlivé odhady potřeb pro realizaci projektu. V této fázi se zpracovává dokument – studie proveditelnosti. Ve studii se provádí analýza trhu, určení marketingové strategie, budoucí výrobní jednotky, materiálové a energetické vstupy, finanční analýza, využití lidských zdrojů a analýza rizik. Na kvalitě zpracování studie proveditelnosti závisí výsledek investic.“¹⁰ V této chvíli lze přistoupit k užití simulačních technik, které by poskytly kvantitativní pohled na problematiku. Nejdůležitějším dokumentem je smlouva o dílo specifikující práva a povinnosti vystupujících stran.

Podle M. Novotného se rizika plynoucí z fáze záměru a projektování dělí na rizika kontrolovaná třetími osobami:

- **Různá povolení, povolení plánování:** V rámci územního řízení může vyjádření některého zapojeného subjektu změnit průběh projektu. Tyto rizika lze předcházet informovaností subjektů
- **Rizika při výběru staveniště:** Plocha staveniště by měla být dostačující pro sociální, provozní a výrobní potřeby. Podrobnější zpracování se předkládá k fázi realizace.
- **Vliv na životní prostředí:** V součinnosti s Ministerstvem životního prostředí se zpracovává analýza vlivů na životní prostředí.
- **Změny v legislativě**
- **Požadavek na hluk**

M. Novotný rizika dále dělí na rizika projektování:

- **Chyby ve zpracování projektu:** Osoba odpovědná za možná selhání je projektant. Chyby nastávají v nedostatečné komunikaci.

¹⁰ OLERÍNÝ, Milan. *Řízení stavebních projektů: Claimový management*. Praha: C. H. Beck, 2005. ISBN 80-7179-888-6. 7179-888-6.

- **Požadavky investora vs. různé výrobní fáze:** Jednání mezi investorem a zhotovitelem o vzájemných povinnostech a požadavcích, které budou právně závazné uzavřením smlouvy o dílo. Smlouva o dílo stanovuje:

- Identifikace smluvních stran
- Předmět smlouvy
- Jakost, provedení díla, pravidelné kontroly, odpovědnost za vady a škody
- Cenu díla
- Stavební deník
- Přerušování prací
- Staveniště
- Předání a převzetí díla
- Vyšší moc
- Podstatné porušení podmínek
- Závěrečná ujednání

V rámci tématu je ve smlouvě o dílo podstatná část týkající se rizik zpoždění časového harmonogramu projektu. Jedná se o rizika, která mohou být předvídatelná, nelze je však úplně eliminovat. Smlouvy, jak uvádí M. Novotný, by měly obsahovat informace:

- **Nevhodně stanovené termíny:** Investor se vyjadřuje k postupům dodavatele a schvaluje termíny kontrolních dnů, termíny schvalování postupů, termíny zápisů do deníku atd. Není vhodné ve smlouvě uvádět pevné termíny kontroly s ohledem na časový plán, ale pouze informace o tom, že dodavatel v předstihu vyzve investora ke kontrole dohodnutých postupů. Problémy jsou v komunikaci, v nedohodnutí termínů...
- **Pozdně přijímané rozhodnutí:** Pozdě přijímaná rozhodnutí vedou k růstu nákladů či odkládání termínů. Vhodná doložka ve smlouvě je, že pokud investor od určitého termínu neodpoví na dodavatelovu výzvu, je postupováno dle dodavatele prací.

- **Pozdní předání a převzetí staveniště:** Termín předání a převzetí by měl být také stanoven ve smlouvě. Pozdní převzetí díla může mít za následek zpoždění projektu.
- **Odložení, zrychlení, zpoždění plánu:** Určitý nestandardní postup konaný investorem může způsobit změny v realizaci projektu a tím zvýšení nákladů. Těmito změnami mohou dodavateli prací vzniknout náklady. Ve smlouvě by měl být za tyto změny odpovědný investor.
- **Finanční aspekty rizika:** Jedná se o otázky platební neschopnosti investora a jeho zajištění proti těmto rizikům.
- **Dostupnost zdrojů:** Rozhodnutí o volbě dostupnosti zdrojů spočívá na investorovi. Nedostupné zdroje představují vyšší náklady
- **Odpovědnost vůči třetím osobám za realizaci projektu:** Pro investora opět znamená vyšší náklady.
- **Politická změna**
- **Vládní legislativa**
- **Vyšší moc:** Projevy vyšší moci způsobují zpoždění, nebo ukončení projektu. Vzniknou-li, nehradí jedna osoba druhé škody, jak plyne z občanského zákoníku. Nicméně zákon tvrdí, že odpovědnost nevyklučuje překážku, která vznikla v době, kdy byla povinná strana v prodlení, nebo vznikla z hospodářských poměrů.

Fáze realizace

„Úspěšný průběh realizace je determinován v předrealizační fázi. Ve smlouvě o dílo se zúčastněné strany dohodnou na podmínkách realizace. Na realizační fázi mají kromě předešlých činností (počínaje myšlenkou projektu) vliv také fyzické procesy, jako umístění stavby, zásoby materiálu, pracovní síla (obecně vše co souvisí se staveništěm). Vystupuje zde třetí osoba, kontrolní orgán. Riziko pro investora nepředstavuje v této fázi velkou hrozbu, protože dobrý investor se proti němu zajistil v předrealizační fázi.“¹¹

¹¹ NOVOTNÝ, Miroslav. *Stavebnictví: Riziková oblast podnikání*. Stavitel č. 9. Praha: Economia a. s., 2002. ISBN 1210-4825.

M. Novotný dále uvádí, že veškerá rizika realizace lze definovat, jako rizika spojená se stavenišťem. Ve stavebnictví je potřeba operativní styl řízení. Při výrobních procesech mohou vznikat nepředvídatelné události, na které je důležité včas reagovat. Fáze realizace je situace, kdy investor předává staveniště zhotoviteli. V této fázi vznikají objekty zařízení staveniště (OZS). OZS závisí na velikosti a druhu stavby, na rychlosti a způsobu provádění jednotlivých činností. Návrh stanoviště zpracovává projektant, provoz stanoviště řeší zhotovitel. Rizika související se stanovištěm mohou představovat nevhodné zpracování dokumentace, nebo řízení provozu stanoviště.

Novotný píše, že dokumentace OZS by měla obsahovat:

- Situační výkresy
- Stavební povolení na některé objekty
- Určení velikosti provozních, výrobních a sociálních objektů
- Stanovení nákladů související s OZS
- Časový plán budování, užívání, likvidace OZS
- Odhady budoucích potřeb energií

2.3 *Exaktní nástroje využívané v projektovém managementu*

2.2.1 Modelování

„Modelování je prostředkem pro porozumění složitým jevům reálného světa, které nás obklopují. Tyto jevy bývají natolik komplikované, že modelování je často dokonce jediným prostředkem, jak lze jejich chování studovat. Modely jsou zjednodušeným obrazem skutečnosti a zachycují jen ty stránky daného jevu, které jsou s přihlédnutím k cíli modelování podstatné. Abstrahují od nepodstatných vztahů a tím umožňují řešit formulovaný problém. Pokud bychom se snažili vytvořit dokonale přesný model, byl by moc složitý a pravděpodobně by jej nešlo řešit.“¹²

„Přestože je model pouze zjednodušeným obrazem reálného systému, má modelování řady výhod. Použití matematických modelů umožňuje strukturalizaci systému a specifikaci všech možných variant stavů systémů, kterých může být neomezené množství. Dále modely mohou analyzovat chování systému ve zkráceném čase. Procesy trvající reálně až několik let lze zkrátit simulací na moderní výpočetní technice někdy až na zlomky sekund. S modely lze snadno manipulovat a provádět experimenty změnou jejich parametrů a vyhnout se tak jakýmkoliv zásahům do reálných systémů, které by je mohly ohrozit.“¹³

„Modelování se opírá o pojmy izomorfie a homomorfie dvou systémů. Dva srovnatelné systémy jsou izomorfní, pokud jsou zrcadlovým obrazem, každého prvku jednoho z nich lze jednoznačně přiřadit prvek druhého a naopak. Stejně tak mají oba stejné chování, na stejné vnější podněty reagují stejně. U homomorfních systémů je jejich zaměnitelnost jednostranná. Každému prvku a vazbě jednoho z nich lze přiřadit analogii druhého, ale neplatí to naopak. Druhý ze systémů může obsahovat další prvky a vazby, jejichž analogie první z nich neobsahuje.“¹⁴ I. Gross dále dodává, že pro výsledky řešitelnosti analyzovaného problému by měl být model izomorfním zobrazením systému.

¹²BERKA, Milan. *Operační výzkum*. 2. vyd. Brno: VUT, 1991. ISBN 8021403462.

¹³JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum*. 2. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.

¹⁴GROSS, Ivan. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0421-8.

Klasifikace modelů

Modely slouží, jako nástroje k zobrazení skutečnosti zkoumaného jevu. Mohou se třídit dle různých znaků na základě druhu procesů, třídy modelů, společným znakům atd. I. Gross nabízí třídění:

Podle fyzické podoby modelů

- Zmenšené repliky reálných objektů, (modely automobilů, letadel...)
- Analogové modely představující funkční obdoby reálných objektů.
- Matematické modely formalizující reálný objekt pomocí symbolů, matematických výrazů a vztahů

Podle očekávaného použití modelů

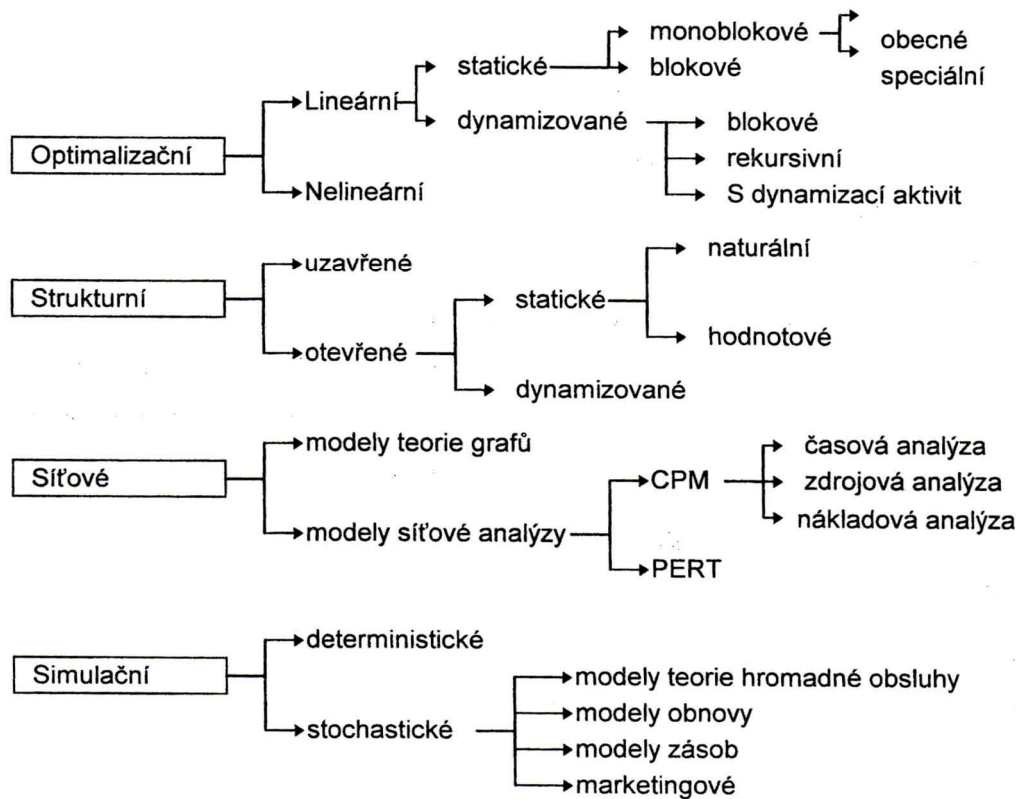
- Popisné modely vyjadřují základní vztahy v reálném objektu a vytvářejí podklady pro hodnocení jeho úrovně
- Prognostické modely odhadují budoucí vývoj. Opírají se o statistickou analýzu vývoje časových řad. Bývají označovány, jako statistické
- Optimalizační modely hledají nejlepší variantu řešení problému.

Podle tvaru výstupů formulujeme

- Deterministické modely, u nichž stejným vstupům lze přiřadit jednoznačně stejné výstupy (modely systémů, objektů s deterministickým chováním)
- Stochastické modely, u kterých lze zadaným vstupům přiřadit výstupní veličiny jen s určitou pravděpodobností (modely systémů, objektů se stochastickým chováním).

J. Získal doplňuje třídění matematických modelů podle účelu (obr. č. 6)

Obrázek 6: Dělení matematických modelů



Zdroj: J. Získal. Systémová analýza a modelování I.

Grafické modely

„Mezi popisné modely je možno zařadit velkou skupinu metod využívající pro modelování poznatků, ke kterým dospěla teorie grafů.“¹⁵

¹⁵ GROSS, Ivan. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0421-8.

Metodou rozumíme: „ Předem popsany a ověřeny postup řešení určitého problému, sestavený z řady elementárních, systematicky prováděných úkonů. Každá metoda má specifikovanou oblast svého použití – účelu (zjištění nejkratší doby, za kterou může být projekt hotový a omezující podmínky (musí být zadány všechny plánované činnosti, jejich přesná posloupnost a pro každou činnost plánovaná délka jejich trvání).“¹⁶

Společným rysem akcí, pro jejichž řízení jsou dále popisované metody vhodné, je potřeba koordinovat velké množství činností, které na sebe věcně, technologicky a tedy i časově navazují“¹⁷

2.2.2 Metody projektového řízení

„V projektech existuje celá řada dobře specifikovaných problémů, které se často v projektech opakují, takže pro ně byly zpracovány příslušné metody.“¹⁸ Metody lze dle frekvence používání rozdělit:

- **Základní, standardně používané metody:** Používají se skoro v každém projektu: Jedná se především o metody síťové analýzy (CPM, PERT, Critical Chain) metoda SMART, metoda Ganttových diagramů, metody pro hodnocení stavu projektu (EVM), nebo metody pro analýzu rizik projektu (RIPRAN, bodovací metoda s mapou rizik)
- **Doplňkové, pomocné metody:** Používají se, když je zapotřebí vyřešit mimořádný problém a je vhodné využít tuto nestandardní metodu (např. pro hodnocení stavu projektu použijeme metodu 100-W-0 nebo metodu tvorby scénářů možného vývoje projektu, pro analýzu rizik metodu FMEA v modifikaci na analýzu projektových rizik, místo klasických metod síťové analýzy použijeme metodu MPM – METRA Potential Method.

¹⁶ DOLEŽAL, Jan et al. *Projektový management podle IPMA*. Praha: Grada Publishing a. s., 2009. ISBN 978-80-247-2848-3.

¹⁷ GROSS, Ivan. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0421-8.

¹⁸ DOLEŽAL, Jan et al. *Projektový management podle IPMA*. Praha: Grada Publishing a. s., 2009. ISBN 978-80-247-2848-3.

- **Obecně používané metody:** Existuje celá řada metod, které jsou obecně používány a je vhodné je používat i v projektech, pokud je potřeba řešit problém, pro který je příslušná metoda vhodným nástrojem (metoda analýzy silných a slabých stránek SWOT, metoda pro expertní odhady DELPHI, metoda brainstormingu, myšlenkových map, metoda simulace a modelování apod.).
- **Speciální metody:** V řadě projektů je vhodné použít speciálních metod, které jsou vyvinuty pro zvláštní problémy. Např. pro odhady pracnosti, nákladů a délky trvání softwarových projektů je možno využít technik, jako COCOM pro vývoj strukturovaných programů nebo metodu UCP – Use Case Points, pro vývoj objektově orientovaných programů.

2.2.3 Síťová analýza

Síťová analýza je definována pomocí graficko-analytický metod uplatněných v řízení, plánování a kontrole složitých na sebe navazujících procesů. Tyto procesy rozkládající se na organizačně související procesy jsou v síťové analýze nazývány projekty. Pramenem Síťové analýzy je teorie grafů

Základní pojmy síťové analýzy

- **Hrany:** Představují jednotlivé činnosti
- **Uzly:** Začátky a konce činností
- **Graf:** Modelem síťové analýzy je síťový graf (dále jen SG), skládající se z počátečního, konečného uzlu a hran grafu. Grafy rozdělujeme na:
 - **Uzlově definovaný SG:** Uzly grafu představují činnosti a hrany grafu reprezentují návaznosti činností.
 - **Hranově definovaný SG:** Činnosti jsou reprezentovány hranami grafu, zatímco uzly grafu představují stavy projektu.
 - **Konečný graf:** Má konečný počet uzlů a hran

- **Sít'**: Sítí rozumíme souvislý, orientovaný, hranově a uzlově definovaný graf obsahující jeden počáteční a jeden koncový uzel. Žádné hrany do něj nevstupují ani nevystupují.
- **Sít'ový diagram**: Je graf, jehož hrany jsou ohodnoceny čísly.
- **Cesta a její délka**: Cestou je nazývána posloupnost hran v orientovaném grafu, ve kterém každá hrana vychází z uzlu, v němž končí předchozí. Cyklem je stejný počátek a konec cesty.

Podmínky modelování projektů s využitím sít'ových diagramů

- Pro každou činnost musí být známa doba jejich trvání
- Pro každou činnost musí být definovány činnosti předcházející
- Pokud vedle časového hlediska přihlížíme též k dalším kritériím optimálního plánování (např. minimalizujeme náklady spojené s realizací projektu), musí být každá činnost ohodnocena příslušnými ukazateli
- Cíl: Projekt bude splněn, jestliže budou ve správném časovém sledu provedeny všechny činnosti

2.2.4 Metody sít'ové analýzy

„Potíže při řešení projektových úkolů a při realizaci projektů jsou způsobeny především tím, že jednotlivé požadavky na realizaci projektu (včasnosti splnění, nepřekročení nákladů, efektivní využití disponibilních zdrojů) jsou často protichůdné, což vede ke konfliktním situacím. Proto je třeba úpravou termínů pro vykonání jednotlivých činností upravovat projekt tak, aby byly splněny požadavky kladené na jeho realizaci.“¹⁹

¹⁹ ZÍSKAL, Jan a Jaroslav HAVLÍČEK. *Ekonomicko matematické metody I.: Studijní texty pro distanční studium*. 4. vyd. ČZU PEF Praha: Credit, 2001. ISBN 8021307617.

„Metody síťové analýzy umožňují modelovat, zkoumat a řídit relativně složité procesy, které se dají rozložit na dílčí technologický a organizačně spolu související činnosti. Tyto procesy jsou v terminologii síťové analýzy nazývány projekty“²⁰

2.2.5 Metoda CPM

„Metoda kritické cesty (Critical Path Method – CPM) patří mezi základní metody časové analýzy projektů. Předpokladem této metody je, že délku všech prováděných činností, ze kterých se projekt skládá, je možno předem přesně odhadnout a dále neuvažujeme možnost změny těchto časových charakteristik – jedná se tedy o metodu deterministickou.“

„Technologické procesy související s projekty modelovatelnými pomocí sítí, se vyznačují tím, že jednotlivé činnosti se musí realizovat v pevném pořadí (např. při stavbě domu zdivo musí následovat po základech). V pevném pořadí musí zpravidla probíhat i organizační činnosti.“²¹

„Cílem časové analýzy projektů je stanovení tzv. kritické cesty, jejíž délka určuje dobu trvání celého projektu. Činnosti, které tvoří kritickou cestu, jsou činnostmi kritickými (na jejich průběhu závisí termín ukončení plánovaného projektu).“²²

Používá se pro sestavení grafických modelů. Základním prvkem jsou uzly, hrany a orientované úsečky. Orientované úsečky jsou ohraničeny počátečním a konečným uzlem.

Jak uvádí J. Ziskal, metoda pracuje s deterministickým modelem a její užití předpokládá postupnou realizaci těchto kroků:

- Formulace modelu CPM, tj. provede se plánování postupu jednotlivých prací projektu pomocí síťového diagramu a jeho analýza z hlediska vzájemné návaznosti a časové náročnosti jednotlivých činností.
- Určí se doby trvání činností a propočtou se dílčí termíny uzlů a činností.

²⁰ VANĚČKOVÁ, Eva. *Ekonomicko-matematické metody: Lineární programování: síťová analýza*. JČU ZF České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1996. ISBN 8070401877.

²¹ UNČOVSKÝ, Ladislav et al. *Modely sieťovej analýzy*. Bratislava: Alfa, 1991. ISBN 80-05-00812-0.

²² VANĚČKOVÁ, Eva. *Ekonomicko-matematické metody: Lineární programování: síťová analýza*. JČU ZF České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1996. ISBN 8070401877.

- Hledá se kritická cesta (nejdelší cesta v síti), provede se její analýza
- Vypočtou se časové rezervy uzlů a činností, jejichž využití může zlevnit projekt

Stavebním prvkem metody je síťový diagram, který je definován parametry:

t_{ij} - doba trvání činnosti (i, j)

t^0_i - termín nejdříve možného zahájení činnosti (i, j)

t^1_j - termín nejdříve možného ukončení činnosti (i, j)

t^1_i - termín nejpozději možného zahájení činnosti (i, j)

t^0_j - termín nejpozději přípustného ukončení činnosti (i, j)

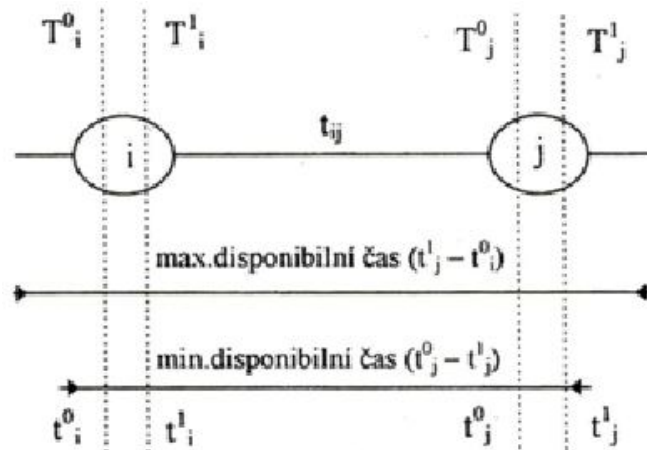
T^0_i - termín nejdříve možného výskytu počátečního uzlu činnosti (i, j)

T^0_j - termín nejdříve možného výskytu koncového uzlu činnosti (i, j)

T^1_i - termín nejpozději přípustného výskytu počátečního uzlu činnosti (i, j)

T^1_j - termín nejpozději přípustného výskytu koncového uzlu činnosti (i, j)

Obrázek 7: Vztahy mezi uzly



Zdroj: J. Získal. Ekonomické matematické metody

Časová analýza sítí

Řízení projektů se váže na finanční prostředky. Pro jejich rychlou návratnost je důležitá, co nejkratší doba trvání. Jak dále I. Gross uvádí: „Síťové modely jsou předmětem časové analýzy, jejímž cílem je určit pro jejich danou organizační a technologickou strukturu významné časové termíny a zejména nejkratší možný termín jejího dokončení, tzv. délku kritické cesty.“²³

Pro výpočet jednotlivých termínů je v literatuře od J. Získala uveden postup, jehož principem je výpočet časových termínů probíhající v etapách:

„V první etapě se určují termíny nejdříve možné, přičemž se postupuje od počátečního uzlu projektu ke koncovému. Nejdříve možné termíny se stanoví postupným načítání doby trvání činnosti t_{ij} a nejdříve možného termínu předchozího uzlu, přičemž výchozím zůstává počáteční uzel projektu s nulovým časovým termínem, tj.“²⁴

$$T^0_0 = 0$$

Vstupuje do uzlu pouze jedna hrana:

$$T^0_j = T^0_i + T_{ij}$$

Vstupuje-li do uzlu více hran:

$$T^0_j = \max (T^0_i + t_{ij})$$

²³ GROSS, Ivan. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0421-8.

²⁴ ZÍSKAL, Jan a Jaroslav HAVLÍČEK. *Ekonomicko matematické metody I.: Studijní texty pro distanční studium*. 4. vyd. ČZU PEF Praha: Credit, 2001. ISBN 8021307617.

„Ve druhé etapě se určují nejpozději přípustné termíny. Termíny nejpozději přípustného výskytu uzlu T^1 se stanoví postupným odčítáním doby trvání činnosti t_{ij} od termínů následujících uzlů, přičemž výchozím zůstává uzel koncový s termínem určeným vypočteným termínem nejdříve možného výskytu T_n^0 .“²⁵

$$T_n^1 = T_n^0$$

Vystupuje-li z uzlu i pouze jedna hrana:

$$T_i^1 = T_j^1 - t_{ij}$$

Vystupuje-li z uzlu i více hran:

$$T_i^1 = \min (T_j^1 - t_{ij})$$

„Platí-li pro některou činnost vztah $t_i^1 = t_i^0$, resp. $t_j^1 = t_j^0$, nazýváme činnost kritickou. Kritická cesta je orientovaná cesta v síti vedoucí od počátečního ke koncovému uzlu, která je tvořena v síti a určuje nejkratší možnou dobu potřebnou k realizaci celého projektu“²⁶

Časová rezerva

Časová rezerva a její definice dle J. Získala: „Pro všechny činnosti, pro které platí vztah $t_j^1 - t_i^0 > t_{ij}$ existuje časová rezerva. Časová rezerva se využívá pro racionálnější využití zdrojů.“²⁷

I. Gross rozlišuje nejpoužívanější typy časových rezerv:

- **Celková časová rezerva:** Určuje, o kolik lze odložit nejdříve možný termín jejího zahájení, nebo o kolik lze prodloužit její trvání, aniž bychom ohrozili celkový termín akce.

$$RC_{ij} = T_j^1 - T_i^0 - t_{ij}$$

²⁵ ZÍSKAL, Jan a Jaroslav HAVLÍČEK. *Ekonomicko matematické metody I.: Studijní texty pro distanční studium*. 4. vyd. ČZU PEF Praha: Credit, 2001. ISBN 8021307617.

²⁶ ZÍSKAL, Jan a Jaroslav HAVLÍČEK. *Ekonomicko matematické metody I.: Studijní texty pro distanční studium*. 4. vyd. ČZU PEF Praha: Credit, 2001. ISBN 8021307617.

²⁷ ZÍSKAL, Jan a Jaroslav HAVLÍČEK. *Ekonomicko matematické metody I.: Studijní texty pro distanční studium*. 4. vyd. ČZU PEF Praha: Credit, 2001. ISBN 8021307617.

- **Volná časová rezerva:** Maximálně přípustné prodloužení trvání této činnosti nebo zpoždění jejího začátku vzhledem k nejdříve možnému termínu t_i , které nenarušuje možnost, aby všechny činnosti vystupující z uzlu j začínaly v nejdříve možném termínu.

$$RV_{ij} = T_j^0 - T_i^0 - t_{ij}$$

- **Závislá časová rezerva:** Vytváří takový časový prostor oproti nejpozději nutnému konci dané činnosti, o který se může tato činnost prodloužit (případně začít později), aby mohli činnosti bezprostředně předcházející skončit v nejpozději nutných koncích

$$RZ_{ij} = T_j^1 - T_i^1 - t_{ij}$$

- **Nezávislá časová rezerva:** Určuje o kolik lze odložit nejdříve možný termín jejího zahájení, nebo o kolik lze prodloužit její trvání, aniž se změní jakékoliv další časové termíny akce.

$$RN_{ij} = \max(0; T_j^0 - T_i^1 - t_{ij})$$

2.2.6 Metoda PERT

„Metoda PERT je určitou modifikací metody CPM, kdy jednoznačně určené časové termíny jsou nahrazeny středními hodnotami náhodných veličin. S tím souvisejí některé pravděpodobnostní výpočty, které ve stochastických projektech provádíme.“²⁸

„Cílem výpočtů PERT je výpočet středních hodnot a rozptylů všech termínů nejdříve a nejpozději možných pro všechny činnosti a uzly a určení tzv. očekávané kritické cesty.“²⁹

V původní metodě PERT dobu trvání reprezentuje β – rozdělení. Hustota tohoto rozdělení je nenulová jen na intervalu a, b .

²⁸ VANĚČKOVÁ, Eva. *Ekonomicko-matematické metody: Lineární programování: síťová analýza*. JČU ZF České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1996. ISBN 8070401877.

²⁹ UNČOVSKÝ, Ladislav et al. *Modely síťové analýzy*. Bratislava: Alfa, 1991. ISBN 80-05-00812-0.

Dobu trvání každé činnosti t_{ij} lze definovat na základě tří odhadů, které získáme od odborníků: optimistický (a_{ij}), pesimistický (b_{ij}) a modální odhad m_{ij} . Střední hodnota a směrodatná odchylka jsou:

a_{ij} *Optimistický odhad činnosti (i, j).*

b_{ij} *Pesimistický odhad trvání činnosti (i, j).*

m_{ij} *Nejpravděpodobnější (normální) odhad trvání činnosti (i, j).*

Střední hodnota celkové doby trvání projektu má normální rozdělení (podle centrálního limitního teorému) a je dána součtem středních dob trvání kritických činností.

„Cílem výpočtů je stanovení středních hodnot a rozptylů všech časů nejdříve a nejpozději možných pro všechny činnosti a uzly a na základě pravděpodobností analýzy vypočtených parametrů se pak posuzuje pravděpodobnost vzniku časové rezerva uzlu, pravděpodobnost vzniku kritické cesty, pravděpodobnost dodržení plánovaného termínu dokončení projektu atd.“³⁰

Střední hodnota β – rozdělení

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

Rozptyl je:

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

³⁰ ZÍSKAL, Jan a Jaroslav HAVLÍČEK. *Ekonomicko matematické metody I.: Studijní texty pro distanční studium*. 4. vyd. ČZU PEF Praha: Credit, 2001. ISBN 8021307617.

„Tyto výpočty zpravidla provádíme za předpokladu, že zkoumané termíny – konkrétně doba trvání projektu a časové rezervy uzlů – jsou nezávislé náhodné veličiny s normálním rozdělením. Tento předpoklad je zpravidla splněn u projektů s dostatečně velkým počtem činností (alespoň 30) a je zdůvodnitelný zejména u doby trvání celého projektu.“³¹

„Střední hodnota celkové doby trvání projektu má normální rozdělení (podle centrálního limitního teorému) a je dána součtem středních dob trvání kritických činností. Po výpočtu střední doby trvání a odchylky se provede rozbor všech projektových činností a na základě hodnot celkových časových rezerv se posoudí, které činnosti jsou kritické. Kritické činnosti za sebou následující tvoří kritickou cestu.“³²

„Kritická cesta se opět získá jako součet dob trvání kritických činností, čímž vyčíslíme i střední dobu trvání celého projektu (M).“

Střední doba trvání celého projektu (M):

$$M = \sum_K t_{ij}$$

Odchylka v trvání projektu:

$$\sigma_M = \sqrt{\sum_K \sigma_{ij}^2}$$

Skutečná doba realizace projektu (T) by se pak měla pohybovat v rozmezí daném střední hodnotou trvání projektu a jeho směrodatnou odchylkou:

$$T = M \pm \sigma_M$$

³¹ VANĚČKOVÁ, Eva. *Ekonomicko-matematické metody: Lineární programování: síťová analýza*. JČU ZF České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1996. ISBN 8070401877.

³² DLOUHÝ, Martin et al. *Simulace pro ekonomy*. 1. vyd. Praha: Oeconomica, 2005. ISBN 8024509733.

Analýza pravděpodobnosti dodržení plánovaných termínů

Pravděpodobnost skončení projektu je v čase T , který nepřekročí námi zadaný čas T_z získáme jako hodnotu distribuční funkce normálního rozdělení v bodě T_z . V tabulkách lze nalézt pouze hodnoty standardizovaného normálního rozdělení $N(0, 1)$, budeme po transformaci na toto rozdělení hledat hodnotu distribuční funkce v bodě:

$$\left(\frac{T_z - M}{\sigma_M} \right)$$

Dále bude platit vztah

$$P(T \leq T_z) = F\left(\frac{T_z - M}{\sigma_M} \right)$$

2.4 Simulace a její uplatnění

„Simulace je numerická metoda studia složitých pravděpodobnostních dynamických systémů pomocí experimentování s počítačovým modelem. Může být využita pro studium chování složitého reálného systému za pomoci počítačového modelu, analýzu citlivosti řešení na změnu parametrů, optimalizaci systému, nahrazení reálného experimentu, který nelze uskutečnit, experimentem na počítači.“³³

Podobně definuje simulaci Jiří Löffelmann: „Simulace je výzkumná metoda, při níž je realita nahrazena počítačovým modelem. Cílem je aby se model choval stejně jako sledovaná realita. Na vytvořeném modelu se dá pak experimentovat takovým způsobem, který by v realitě nebyl vůbec možný nebo pouze za velmi nevýhodných podmínek (dlouhý čas, vysoké náklady). Pro simulaci a následné vytvoření dynamického modelu se používají speciální modelovací nástroje.“³⁴

³³ DLOUHÝ, Martin et al. *Simulace pro ekonomy*. 1. vyd. Praha: Oeconomica, 2005. ISBN 8024509733.

³⁴ LOFFELMAN, J. Trendy v plánování a řízení výroby. IT Systems [on line]. 2004

„Simulace sama o sobě není metodou řešení, ale pouze napodobením procesů probíhajících v systému. Je to způsob poznání, jehož podstata spočívá v tom, že zkoumaný systém nahradíme jeho simulačním modelem a s ním provádíme experimenty.“³⁵

„Simulace je proces tvorby logicko-matematického modelu reálného objektu, systému na něm definovaného, nebo procesu rozhodování a realizace velkého množství experimentů s ním.“³⁶

I. Gross dále jmenuje cíle simulace:

- Popis systému
- Poznání jeho funkce
- Odhad jeho budoucího chování
- Nalezení řešení problému
- Návrh a ověření funkce nové struktury systému

Existují různá pojetí simulace, J. Získal uvádí dvě hlediska:

- **Širší pojetí:** Simulace je technika, která umožňuje vyhodnotit důsledek nějakého rozhodnutí bez jeho uskutečnění v reálném systému. Jde o napodobení situace, systému změn nebo činností bez jejich realizace pomocí různých typů modelů (např. modely LP, strukturní aj.). V podstatě se jedná o experimentování s matematickým modelem libovolné konstrukce. Např. u modelů LP jde o využívání senzitivní analýzy, parametrizace apod.
- **Užší pojetí:** Simulace je chápána, jako numerická metoda, která spočívá v experimentování s matematickými modely reálných systémů na počítači. V podstatě se simulace v tomto pojetí chápe jako postup, s jehož pomocí se zkoumaný proces generuje v čase na základě daných statistických rozložení jeho parametrů.

³⁵ ZÍSKAL, Jan a Jaroslav HAVLÍČEK. *Ekonomicko matematické metody I.: Studijní texty pro distanční studium*. 4. vyd. ČZU PEF Praha: Credit, 2001. ISBN 8021307617.

³⁶ GROSS, Ivan. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0421-8.

Podle I. Grosse vyžaduje sestavování modelů dokonalou znalost subjektu, který je předmětem zkoumání. Modely jsou sestavovány za jistým účelem, jemuž se podřizuje i jejich konstrukce. Tvorba vyžaduje značné úsilí vynaložené k sběru informací, na kterých se podílí tým specialistů. Shromažďování informací zahrnuje definování cíle, stupeň podrobnosti a rámec modelu, formulace vstupních a stavových proměnných, parametrů modelu a výstupních proměnných.

Rozdělení počítačových simulací podle I. Grosse:

- **Simulace diskrétních procesů:** Proměnné modelu mohou nabývat jen předem stanovených hodnot
- **Simulace spojitých procesů:** V modelu jsou spojitě proměnné.
- **Statistická simulace:** Generuje stav systému v daném časovém okamžiku
- **Dynamická simulace:** Zachycuje vývoj systému v čase.
- **Deterministické simulace:** Zde se nevyskytují náhodné proměnné.
- **Stochastické simulace:** Skládají se s náhodných proměnných. Tato skupina simulací je označována jako simulace Monte Carlo.

2.2.1 Pravděpodobnostní rozdělení

J. Ziskal popisuje stochastický systém, ve kterém jsou vazby mezi prvky, které se dají definovat pomocí náhodných veličin. Náhodné veličiny by mohly sloužit, jako vstupní data simulačního programu, avšak díky malému množství těchto hodnot, je vhodnější stanovit pravděpodobností zákonitosti

„Rozdělení pravděpodobnosti nebo rozložení pravděpodobnosti (někdy také distribuce pravděpodobnosti) náhodné veličiny je pravidlo, kterým každému jevu popisovanému touto veličinou přiřazujeme určitou pravděpodobnost. Rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny tedy získáme, pokud každé hodnotě diskrétní náhodné veličiny, popř. intervalu hodnot spojitě náhodné veličiny, přiřadíme pravděpodobnost.“³⁷

V práci jsou použity pravděpodobnostních rozdělení náhodných veličin:

Normální rozdělení

„Normální rozdělení má zcela zásadní význam v teorii pravděpodobnosti a matematické statistice a řídí se jím (alespoň "přibližně") mnoho náhodných veličin. Nejběžnějším typem takových veličin jsou náhodné chyby (chyby měření, způsobené velkým počtem neznámých a vzájemně nezávislých příčin). Proto se normálnímu rozdělení někdy říká rozdělení chyb. Rovněž mnohé náhodné veličiny v obchodě a ekonomii se řídí tímto rozdělením nebo jejich rozdělení jím může být velmi dobře aproximováno.“³⁸

Střední hodnota normálního rozdělení je:

$$E(X) = \mu$$

Normální rozdělení má rozptyl:

$$D(X) = \sigma^2$$

Normální rozdělení pravděpodobnosti s parametry μ a σ^2 , pro $-\infty < \mu < \infty$ a $\sigma^2 > 0$, je pro $-\infty < x < \infty$ definováno hustotou pravděpodobnosti ve tvaru Gaussovy funkce.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

³⁷ KRÄMER, Walter. *Statistika do vesty*. Praha: Barone a. s., 2005. ISBN 80-7214-848-6.

³⁸ DUCHOŇ, Bedřich. *Inženýrská ekonomika*. 1. vyd. Praha: C. H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-763-0.

Trojúhelníkové rozdělení

Mezi další základní rozdělení patří trojúhelníkové rozdělení (symbolický zápis je $X \sim \text{Tri}(a, b, c)$).

.Střední hodnota u trojúhelníkového rozdělení je:

$$\mu = \frac{a + b + c}{3}$$

Rozptyl je:

$$\sigma^2 = \frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}$$

Distribuční funkce obecného trojúhelníkového rozdělení je následující:

$$F(x) = \frac{(x-a)^2}{(b-a) \cdot (c-a)}, \quad a \leq x \leq c,$$

$$F(x) = 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a) \cdot (b-c)}, \quad c < x \leq b,$$

kde a, b, c jsou parametry dané funkce udávající minimální, maximální a nejčastější hodnotu sledované veličiny.

Beta rozdělení

Beta rozdělení $B(p,q)$, $p,q>0$. Toto rozdělení je často používáno jako BetaGeneral, nebo PERT beta.

$p > 0$ parametr tvaru

$q > 0$ parametr tvaru

Střední hodnota je:

$$E(X) = \frac{p}{p+q}$$

Rozptyl beta rozdělení je:

$$D(X) = \frac{pq}{(p+q)^2(p+q+1)}$$

Beta rozdělení je spojité rozdělení určené hustotou.

$$f(x) = \frac{1}{B(p, q)} x^{p-1} (1-x)^{q-1}, \quad x \in (0, 1)$$

Weibullovo rozdělení

@RISK generuje dvouparametrové Weibullovo rozdělení. Weibullovo rozdělení je spojité rozdělení pravděpodobnosti s parametrem tvaru α a parametrem měřítka β . ($\alpha > 0$; $\beta > 0$)

Střední hodnota je:

$$\beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

Γ = funkce gama

Rozptyl je:

$$\beta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right]$$

Γ = funkce gama

Hustota pravděpodobnosti je:

$$f(x) = \frac{\alpha x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha} e^{-(x/\beta)^\alpha}$$

$$F(x) = 1 - e^{-(x/\beta)^\alpha}$$

2.2.2 Kritičnost činností

„Kritičnost lze definovat jako pravděpodobnost, že činnost je na kritické cestě, přičemž nejkritičtější činnosti nemusí tvořit souvislou cestu.“ Uvádí Němec v Projektovém managementu.

Kritičnost je v práci simulována v programu @Risk. V MS Excel se nejprve všechny činnosti zpracují pomocí funkce RiskTriang(a_{ij};m_{ij};b_{ij}). Výsledná hodnota každé z činností se prodlouží o Δt a je zjišťováno, zda se prodlouží trvání celého projektu o stejnou hodnotu Δt . Prodloužení činnosti lze vypočítat za pomoci funkce RiskSimtable({1;2;3...n}), n představuje počet činností v projektu. Dále se vypočítá doba trvání každého uzlu a na stejném principu (bez prodloužení a s prodloužením). U konečného uzlu budou dva výsledky. Jejich rozdíl, pohybující se od 0 do Δt slouží jako výstup pro simulace. Spustí se simulace. Po simulaci nabídne program výpočty, mimo jiné středních hodnot, kterými se definuje pravděpodobnost, kdy se činnost stává kritická. Pomocí simulace lze vytipovat kritické činnosti napříč projektem. Výsledky simulace mohou sloužit jako podklady pro projektový management.

2.2.3 Korelace

V souvislosti s časovou analýzou lze také stanovit míru závislosti náhodných dat, v tomto případě časových údajů.

Korelace znamená: „Vzájemný vztah mezi dvěma procesy nebo veličinami. Pokud se jedna z nich mění, mění se korelativně i druhá a naopak. Pokud se mezi dvěma procesy ukáže korelace, je pravděpodobné, že na sobě závisejí, nelze z toho však ještě usoudit, že by jeden z nich musel být příčinou a druhý následkem. To samotná korelace nedovoluje rozhodnout. V určitějším slova smyslu se pojem korelace užívá ve statistice, kde znamená vzájemný lineární vztah mezi znaky či veličinami x a y . Míru korelace pak vyjadřuje korelační koeficient, který může nabývat hodnot od -1 až po $+1$.“³⁹

Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

„Součty čtverců ve jmenovateli jsou $n-1$ násobkem výběrových rozptylů. Proto se často setkáváme s jednodušším vyjádřením Pearsonova korelačního koeficientu.“⁴⁰

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

³⁹ MACHEK, Josef a Jiří LIKEŠ. *Matematická statistika 2*. Praha: SNTL, 1998. ISBN 80-245-003-1.

⁴⁰ MACHEK, Josef a Jiří LIKEŠ. *Matematická statistika 2*. Praha: SNTL, 1998. ISBN 80-245-003-1.

2.2.4 Regrese

„Regrese je způsob, kterým určujeme, do jaké míry jeden jev ovlivňuje druhý. Regresi můžeme užívat při pokusu něco předpovědět, ovšem to může být komplikované. Existence korelace mezi proměnnými nemusí vždy znamenat, že se mezi nimi vyskytuje kauzální vztah (tj. souvislost mezi příčinou a jejím následkem).“⁴¹

„Regresní analýza je označení statistických metod, pomocí nichž odhadujeme hodnotu jisté náhodné veličiny (takzvané závisle proměnné, nazývané též cílová proměnná, regresand anebo vysvětlovaná proměnná) na základě znalosti jiných veličin (nezávisle proměnných, regresorů, kovariát anebo vysvětlujících proměnných).“⁴²

Vzorec regrese je:

$$\mathbb{E}(Y|X_1, \dots, X_p) = \beta^0 + \sum_{j=1}^p \beta^j X_j$$

β^j = regresní koeficient

V práci bude přes simulační techniku stanovena závislost celkové doby trvání projektu na jednotlivých činnostech. Měřítkem citlivosti celkové doby na činnostech je regresní koeficient. Čím má regresní koeficient hodnotu blížeji jedné, tím větší bude závislost činnosti na dokončení projektu. Regresní analýza může moci projektovému managementu v rozhodování.

2.2.5 Test na shodu s teoretickým rozdělením

„Test dobré shody (Pearsonův chí-kvadrát test) je metoda matematické statistiky, která umožňuje ověřit, zda má náhodná veličina určité předem dané rozdělení pravděpodobnosti. Takové rozdělení může být dáno včetně parametrů, nebo s neznámými parametry.“⁴³

⁴¹ GIBILISCO, Stan. *Statistika*. Brno: Computer Press a. s., 2004. ISBN 978-80-251-2465-9.

⁴² MACHEK, Josef a Jiří LIKEŠ. *Matematická statistika 2*. Praha: SNTL, 1998. ISBN 80-245-003-1.

⁴³ KRÄMER, Walter. *Statistika do vesty*. Praha: Baronet a. s., 2005. ISBN 80-7214-848-6.

Pro naše účely bude použit Chí-kvadrát test. Test slouží ke statistickému testování shody mezi očekávanými a pozorovanými hodnotami

Simulace mohou také nabízet statistické informace, které jsou nazývány popisná statistika.

Autoři Machek a Likeš sem například řadí:

- **Maximum**
- **Minimum**
- **Modus**
- **Medián**
- **Koeficient šikmosti**
- **Koeficient špičatosti (excesu)**

2.5 Software pro využití v projektovém managementu

V projektovém managementu lze využít bohaté nabídky softwaru. Mezi nejznámější patří Microsoft project a @Risk.

Microsoft project

„Pro plánování projektů, sledování termínů, přiřazování zdrojů a sledování jejich využití, sledování kritické cesty a zobrazení různých pohledů na projekt. Project může využívat buď jednotlivec pro své projekty, nebo tým pro řízení komplexních projektů.“⁴⁴

@RISK pro Microsoft Excel

v diplomové práci je využito simulačního softwaru @Risk.

⁴⁴ Začínáme: Základní informace o aplikaci Microsoft Project. *Office.microsoft.com* [online]. 2013 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://office.microsoft.com/cs-cz/project-help/zaciname-zakladni-informace-o-aplikaci-microsoft-project-HA010355887.aspx>

Riziko vyplývá z naší nejistoty vidět do budoucnosti a ukazuje míru nejistoty, která není dost významná, abychom si ji všimli.

„@RISK je software uplatňovaný při analýzách v podnikových nebo technických situacích. Techniky analýz rizik se pokládají za klíčové nástroje pro rozhodování managementu. Využívání počítačů přináší mnohem větší možnosti používání těchto technik řídicími články společností.“⁴⁵

@RISK nabízí využití možností analýzy rizik v prostředí aplikace Microsoft Excel a poskytuje detailnější pohled na problematiku řešeného projektu.

Uplatnění analýzy rizik

Autoři softwaru @RISK společnost Palisade uvádí příklady hodnocení situace za přítomnosti rizik:

- **Rizika pro vývoj nových produktů a marketing:** Odpovídá na otázky: Zpozdí legislativní regulace zavedení výrobku? Jak velký dopad bude mít marketingová strategie na úroveň prodeje? Bude navrhovaná prodejní cena reflektovat neočekávané změny v poptávce?
- **Rizika pro cenné papíry a inventarizaci majetku:** Jak předběžná koupě ovlivní hodnotu portfolia? Ovlivní nový management tržní cenu? Jaký dopad bude mít korekce trhu na průmyslové odvětví?
- **Rizika pro řízení provozu a plánování:** Bude stačit úroveň zásob pro nepředvídatelné úrovně poptávky? Jak vrostou náklady na práci po jednání s odborovými organizacemi? Jaké politické a tržní události ovlivňují zahraniční dodavatele?
- **Rizika designu a stavebních úprav:** Budou náklady na stavební materiál a práce shodné s předpovědí? Ovlivní stávka stavební plán?
- **Rizika strategického plánování:** Podléhá plánování legislativnímu schválení? Jaká bude úroveň shody s danou směrnicí? Budou náklady spojené s implementací ve shodě s předpovědí?

⁴⁵ PALISADE CORPORATION. @RISK: *Advanced risk analysis for spreadsheets*. Newfield, NY USA, 2002.

Co je analýza rizik?

„Analýza rizik znamená v širším slova smyslu analýzu kvalitativních, nebo kvantitativních metod. Cílem těchto metod je pomoci rozhodovateli zvolit postup pro lepší pochopení možných výstupů, které nastaly.“⁴⁶

„Analýza rizik v @RISK je kvantitativní metoda, která slouží k určení výstupů rozhodované situace a rozdělení pravděpodobností.“⁴⁷

Dle průvodce uvedeného na webových stránkách Palisade zahrnuje analýza čtyři kroky:

- **Vývoj modelu:** Definování problému nebo situace v prostředí MS Excel.
- **Identifikace rizika:** V proměnných, uvedením jejich hodnot s pravděpodobností a identifikuje výsledné neznámé, které je potřeba analyzovat.
- **Analýza modelu a simulace:** Stanovení rozsahu a pravděpodobnosti všech možných výstupů.
- **Rozhodování:** Na základě uvedených výsledku a vlastní preference...

Práce v @RISK

Risk nabízí řadu příkazů, pod některými se spustí nástroje analýz - @Risk model window commands. Jiné zobrazí výsledky těchto analýz - @Risk results window commands. Program také nabízí funkce - @Risk Functions, nebo makra @Risk Macras.

- **@Risk model window commands:** Program využívá simulace, někdy nazývané simulace Monte Carlo. Jedná se o metodu, kdy je možné rozdělení výsledků generováno a počítač pokaždé znovu a znovu přepočítává rozdělení pravděpodobnosti.
- **@Risk results window commands:** Nabízí řadu grafů dle druhu rozdělení, základní statistické informace a výsledky analýzy citlivosti – korelaci a regresní analýzu.

⁴⁶ PALISADE CORPORATION. *@RISK: Advanced risk analysis for spreadsheets*. Newfield, NY USA, 2002.

⁴⁷ PALISADE CORPORATION. *@RISK: Advanced risk analysis for spreadsheets*. Newfield, NY USA, 2002.

- **@Risk Functions:** Program obsahuje běžné funkce se kterými lze pracovat přímo v Excel aplikaci. Tyto funkce jsou užívány pro definující pravděpodobnost rozdělení, definující výstupy simulace, přenáší výsledky simulace v tabulce.
- **@Risk Macras**

3. Cíl, Metodika

Cíl práce

Na základě poznatků získaných studiem odborných publikací a ostatních zdrojů na téma možnosti uplatnění stochastického přístupu v plánování, řízení a kontrolování projektů bude vyhodnocena časová analýza stavebního projektu. Projekt bude analyzován pomocí simulační techniky. Předmětem zkoumání bude projekt Modernizace trati České Budějovice – Nemanice, pro který budou navržena vhodná doporučení.

Metodika

Ve spolupráci se Správou železniční dopravní cesty byla na základě šetření nashromážděna data představující stavební činnosti v projektu a jejich odhady dob trvání. Časová analýza byla zpracována prostřednictvím deterministického a stochastického přístupu. Na projekt byly aplikovány metody CPM, PERT a následně provedena simulace projektu.

Prostředkem při řešení simulací projektu Modernizace trati ČB – Nemanice je simulační software @RISK. Nejprve je definován model představující zjednodušený obraz reality, různé procesy a jejich interace. Formalizace řešení systému zkoumaného projektu je umožněno matematickými a statistickými metodami. Simulace představuje věrné napodobení situace projektu. Výsledky simulace byly komparativně zhodnoceny a porovnány s deterministickými metodami. Na závěr, po syntéze výsledku, byla navržena opatření pro realizaci projektu.

4. Aplikační část

4.1 Popis projektu Modernizace Trati ČB-Nemanice

Projekty Fondu soudržnosti

Projekt Modernizace Trati ČB-Nemanice je financován z Fondu soudržnosti. Fond soudržnosti byl zřízen v roce 1993 za účelem podpory ekonomicky slabších členů Evropské Unie, zejména států jižní Evropy – Řecko a Španělsko, aby byly připraveni na vstup do hospodářské a měnové unie. V současné době jsou peněžní prostředky z toho fondu orientovány na projekty ze sféry životního prostředí a transevropských dopravních sítí. Podmínkou poskytování dotací z fondu soudržnosti je výše hrubého národního produktu nižší než 90% průměru EU.

Česká republika splňuje kriteria pro čerpání finančních prostředků v rámci fondu soudržnosti. Její hrubý národní produkt dosahuje výše 61% průměru EU. Fond se zaměřuje jen na velké investiční projekty, které svojí povahou nespádají do regionální úrovně. Fond soudržnosti tvoří v měřítkách objemu třetinu finanční pomoci poskytované EU. Řídícím orgánem fondu soudržnosti v České republice bylo pověřeno Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, které koordinuje zprostředkující orgány Ministerstvo životního prostředí ČR a Ministerstvo dopravy. Odpovědné za naplňování cílů fondu soudržnosti v rámci politiky národního rozvoje země jsou odpovědné realizační orgány ministerstev (v případě železniční dopravy je realizačním orgánem Správa železniční dopravní cesty – SŽDC).

Modernizace trati ČB-Nemanice

Stavba byla zahájena dne 28.4.2011. Jedná se o významný krok v modernizaci evropské železniční sítě. Délka trati je 2,62 km. Investorem stavby je státní organizace Správa železniční a dopravní cesty (SŽDC). Zhotovitelem je Eurovia a. s.

Z mezinárodního hlediska je stavba "Modernizace trati České Budějovice - Nemanice I" součástí sítě nadnárodních železničních magistrál podle mezinárodních dohod. Z hlediska vnitrostátního je úsek součástí IV. tranzitního železničního koridoru, který zahrnuje úsek tratí z Děčína st. hranice přes Prahu a České Budějovice do Horního Dvořiště státní hranice. Železniční stanice České Budějovice tvoří centrální bod železniční sítě Jihočeského kraje s vazbami jak do vnitrozemí k sousedním střediskům osídlení regionálního významu, tak do sousedního Rakouska. „Výsledkem modernizace bude zvýšení traťové rychlosti a bezpečnosti provozu. Ke zvýšení bezpečnosti provozu dojde zejména vybudováním nových a úpravou stávajících zabezpečovacích a sdělovacích zařízení a zrušením nebo úpravou úrovnových silničních přejezdů. Rekonstrukcí nástupišť a zajištěním přístupu pro osoby s omezenou schopností pohybu a orientace se zvýší kvalita přepravy cestujících“⁴⁸, uvedl Ing. Pavel Habarta, MBA, pověřený řízením SŽDC.

V projektu je počítáno s rekonstrukcí železniční stanice České Budějovice (kromě jižního zhlaví), zastávky České Budějovice severní zastávka, zahrnuje výstavbu bezbariérových přístupů, výtahů, nebudou chybět nové informační a navigační systémy.

Projekt Modernizace trati ČB – Nemanice je navržen ke spolufinancování Evropskou Unií z Fondu soudržnosti. Příspěvek EU na tuto stavbu může činit až 71,20 %, tedy přibližně 633 373 000,- Kč.

Dle předpovědi náměstka SŽDC Ing. Jiřího Martínka by celá trať měla být modernizovaná do roku 2020, od roku 2016 - 2017 by mohly jezdit do Prahy vysokorychlostní vlaky.

⁴⁸ HABART, Pavel Modernizace trati České Budějovice - Nemanice I. Správa železniční a dopravní sítě [online] 28.4.2011 [cit. 2012-4-20] Dostupné z <http://www.szdc.cz/pro-media/tiskove-zpravy/budejovice-nemanice.html>

Tabulka 1: Základní údaje

Základní údaje	
Místo realizace	Jihočeský kraj
Koridor	4
Datum zahájení projektu	2.únor 2011
Datum ukončení projektu	31. leden 2014
Zdroj financování EU	Fond soudržnosti
Schválený příspěvek EU	755 930 994 Kč
Příjemce	Správa železniční dopravní cesty, (SŽDC)
Národní spolufinancování	Státní fond dopravní infrastruktury (SFDI)
Stavební dozor	SŽDC, s.o., Stavební správa západ
Zhotovitel	Eurovia a.s
Zhotovitel projektu stavby a autorský dozor	IKP Consulting Engineers, s.r.o. Praha, Ing Halama Miroslav
Datum schválení projektu	17. červen 2010
Projekt schválil(a)	ŘO OP Doprava
Projekt schválen v rámci prioritní osy	1 - Modernizace železniční sítě TEN-T
Oblast podpory	1.1 - Modernizace a rozvoj železničních tratí sítě TEN-T včetně železničních uzlů

Zdroj: szdc.cz

Tabulka 2: Technická specifikace

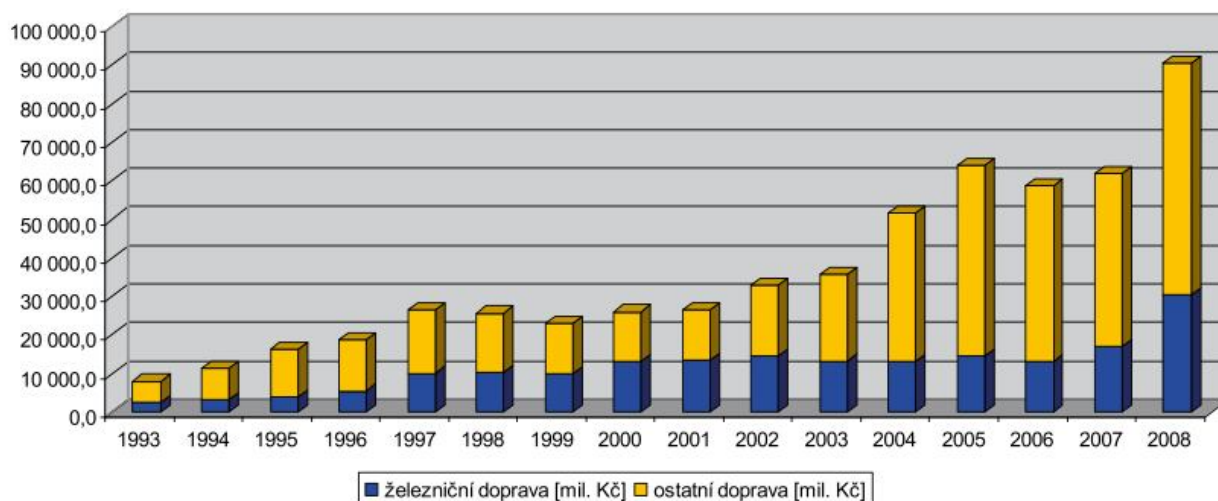
Technická specifikace	
Začátek a konec stavby	213,280 km - Km 215,900
Celková délka stavby	2,620 km
Trat'ové koleje	S 49 - celkem 3606 m z toho užitá (regenerovaná) 3485 m; UIC 60 - celkem nová 5151 m
Elektrizace	demontáž stávajícího TV: 15,228 km; montážní úpravy TV: 24,285 km
Podchody pro pěší	3 ks rekonstrukce
Přejezdy	3 ks rekonstrukce
Mosty	2 ks nové; 7 ks rekonstrukce
Propustky	1 ks demolice
Protihlukové stěny	1310 m

Zdroj: szdc.cz

Projekty modernizace tratí souvisejí s plánovaným rozvojem železniční sítě České Republiky. Železnice v ČR je v rámci hustoty na rozlohu státu jedna z nejhustějších v Evropě. Teoreticky by železniční síť postačila na přepravu velkých objemů, ale tomu brání nevyhovující stav daný špatnou obnovou základních prostředků, nedostatečná údržba i zpoždění všeobecného rozvoje. Stáří některých zařízení dosahuje věku, kdy se železnice začala budovat. V podstatě lze říci, že dnešní síť zůstala stejná, jako v době, kdy se začala budovat, tedy v minulém století. Železnice není schopná konkurovat silniční dopravě, zaostává v kvalitě a hlavně v rychlosti. Železniční doprava ztrácí výkony na úkor silniční dopravy. Dopravní trh se velmi rozšířil, železniční doprava zůstává statická, i když dochází v posledních letech k nejrozsáhlejší modernizacím.

Zhodnotí-li se náklady od roku 1993, kdy po rozdělení Československa vznikla Česká republika, lze konstatovat stoupající tendenci investování do železnice. Je to hlavně díky modernizacím, která sem v oblasti české železniční dopravy staly dominantní, ale také díky vzrůstajícím nákladům na provoz a údržbu starého vybavení. Stará zařízení stále více stárnou a náklady na jejich údržbu rostou. Vezmeme-li délku tratí v ČR, lze říci, že k modernizaci došlo u 20%, zbylých 80% je udržováno v provozuschopném stavu.

Graf 1: Investice do dopravní infrastruktury, v mil Kč



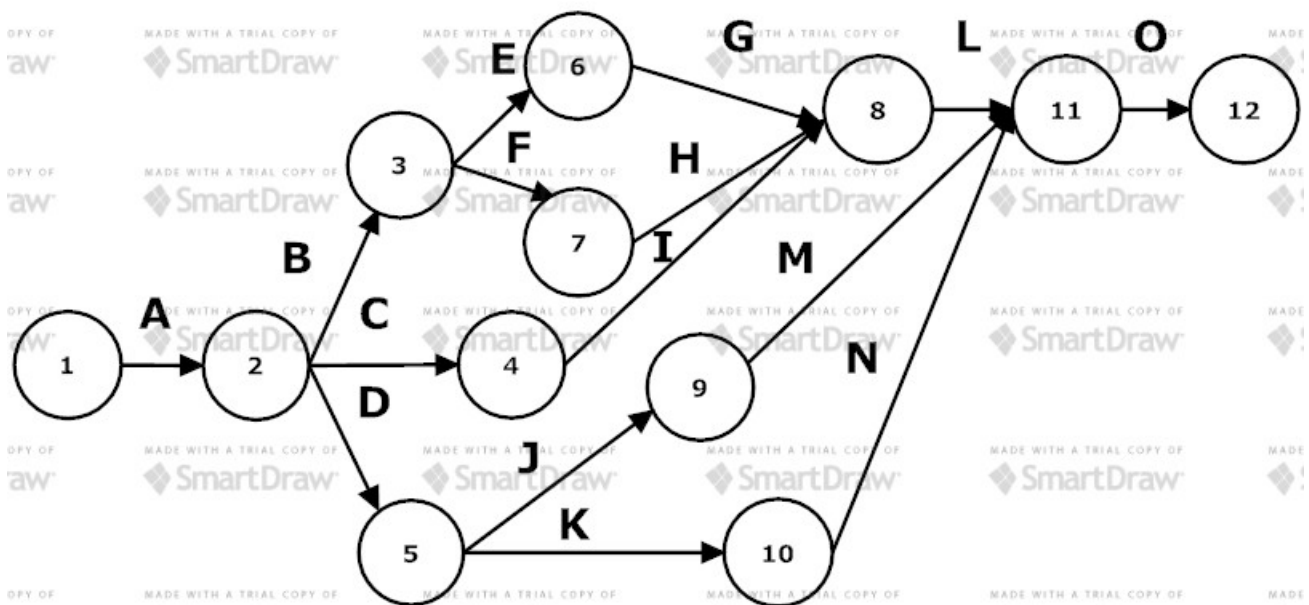
Zdroj: Ministerstvo dopravy ČR

4.2 Analýza projektu Modernizace trati ČB – Nemanice

V této části práce bude projekt Modernizace trati ČB-Nemanice podroben analýze za využití potenciálu matematických metod.

Nejprve je nutné projekt definovat pomocí graficko-analytických metod síťové analýzy. Síťový diagram je grafickým znázorněním jednotlivých činností, jejich postavení v rámci projektu a vazeb. V terminologii síťové analýzy jsou hrany, popisující činnosti, zobrazeny velkými písmeny a uzly, symbolizující začátek a konce činnosti, popsány čísly. Lze si všimnout, že projekt byl započat činností A, která poskytla podmínky pro rozvoj několika činností najednou, aby bylo efektivně využito času a minimalizovány náklady. Na konci grafu se činnosti sbíhají do uzlu 11, projekt je ukončen činností O. Čím větší počet vazeb je na předcházející činnosti, tím většího rizika je dosahováno.

Obrázek 8: Síťový diagram projektu Modernizace Trati ČB - Nemanice



Zdroj: Správa železniční dopravní cesty ČR

K orientaci v síťovém diagramu slouží následující tabulka č. 3, kde jsou k jednotlivým písmenům přiřazeny činnosti.

Tabulka 3: Označení činností projektu Modernizace trati ČB-Nemanice

Činnost	
A	Přípravné práce a úpravy pražských kolejí I.
B	zdvoukolejnění plzeňské trati kol.c.901 a 902
C	úpravy pražských kolejí II.
D	Provizorní koleje P3 a P4
E	Osob. nádraží II - severní zhlaví
F	Osob. nádraží II - Ulice Rudolfovska 1
G	Osob. nádraží II - jižní část
H	Osob. nádraží II - Ulice Rudolfovska 1
I	osobní nádraží III.
J	Odstranění provizorní koleje P3
K	kol.c.901a (stávající kol.c.1)
L	osobní nádraží IV.
M	Odstranění provizorní koleje P4
N	kol.c.902a (stávající kol.c.2)
O	Dokončovací práce

Zdroj: Modernizace trati ČB-Nemanice

4.2.1 Aplikace CPM metody

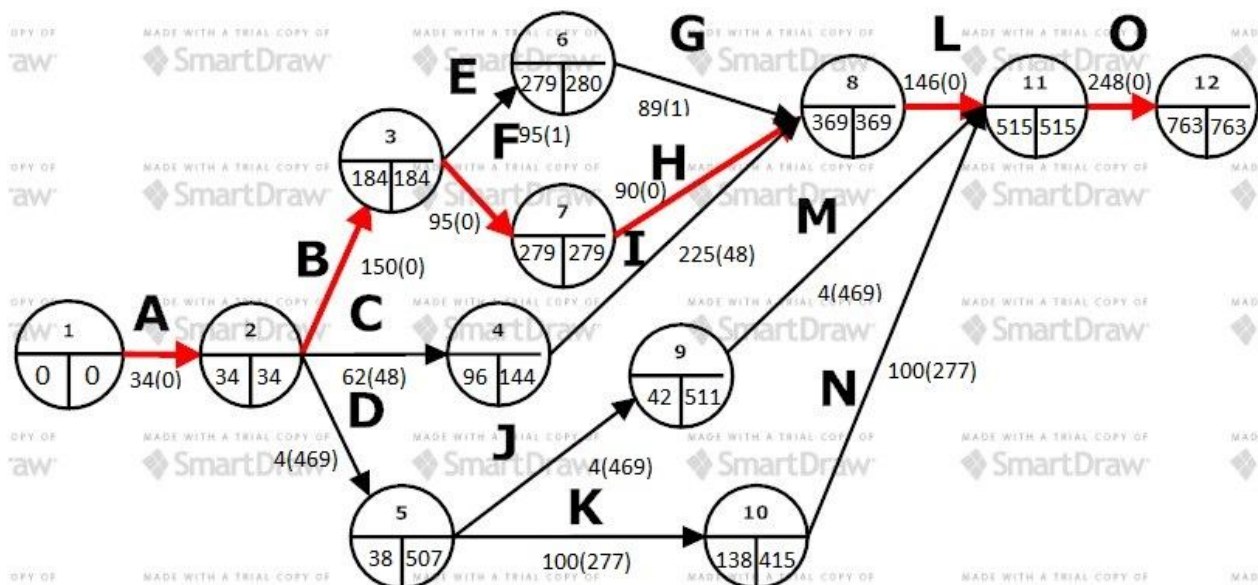
Metoda CPM je aplikována na projekt modernizace trati ČB-Nemanice. V následující tabulce č. 3 jsou uvedeny názvy dílčích činností, jejich odhad doby trvání a vazby na předcházející činnosti.

Tabulka 4: Projekt Modernizace trati ČB-Nemanice pro aplikaci CPM

Činnost	Naplánovaná doba trvání	předchozí činnost
A Přípravné práce a úpravy pražských kolejí I.	34	-
B zdvoukolejnění plzeňské trati kol.c.901 a 902	150	A
C úpravy pražských kolejí II.	62	A
D Provizorní koleje P3 a P4	4	A
E Osob. nádraží II - severní zhlaví	95	B
F Osob. nádraží II - Ulice Rudolfovská 1	95	B
G Osob. nádraží II - jižní část	89	E
H Osob. nádraží II - Ulice Rudolfovská 1	90	F
I osobní nádraží III.	225	C
J Odstranění provizorní koleje P3	4	D
K kol.c.901a (stávající kol.c.1)	100	D
L osobní nádraží IV.	146	G-H-I
M Odstranění provizorní koleje P4	4	J
N kol.c.902a (stavající kol.c.2)	100	K
O Dokončovací práce	248	L-M-N

Zdroj: Správa železniční dopravní cesty ČR

Obrázek 9: Síťový diagram projektu Modernizace trati ČB-Nemanice po aplikaci metody CPM



Zdroj: Správa železniční dopravní cesty ČR

Po zpracování projektu lze zjistit, že existuje celkem 5 cest síťovým grafem, tyto cesty jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tabulka 5: Cesty v síťovém grafu

Cesty v síťovém grafu	
cesta A-B-E-L-O	762
cesta A-B-F-H-L-O	763
cest A-C-I-L-O	715
cesta A-D-J-M-O	294
cesta A-D-K-N-O	486

Zdroj: vlastní

Kritická cesta je nejdelší cestou v projektu a představuje tak nejkratší možný čas realizace projektu. V případě modernizace trati je kritická cesta A-B-F-H-L-O (označena červeně). Činí 763 dní. Celková časová rezerva činností tvořící kritickou cestu je nulová.

4.2.2 Aplikace metody PERT

Tabulka č.4, v návaznosti na síťový diagram, nabízí odhad dob trvání činností:

Tabulka 6: Odhad dob trvání jednotlivých činností projektu, ve dnech

Činnost	a_{ij}	m_{ij}	b_{ij}
A Přípravné práce a úpravy pražských kolejí I.	34	34	35
B zdvoukolejnění plzeňské trati kol.c.901 a 902	133	150	182
C úpravy pražských kolejí II.	61	62	63
D Provizorní koleje P3 a P4	4	4	5
E Osob. nádraží II - severní zhlaví	93	95	102
F Osob. nádraží II - Ulice Rudolfovska 1	93	95	103
G Osob. nádraží II - jižní část	85	89	95
H Osob. nádraží II - Ulice Rudolfovska 1	87	90	97
I osobní nádraží III.	220	225	280
J Odstranění provizorní koleje P3	4	4	5
K kol.c.901a (stávající kol.c.1)	95	100	112
L osobní nádraží IV.	139	146	169
M Odstranění provizorní koleje P4	4	4	4
N kol. c.902a (stávající kol.c.2)	95	100	112
O Dokončovací práce	240	248	260

Zdroj: Správa železniční dopravní cesty ČR

V tabulce jsou stanoveny tři odhady doby trvání činností:

- Optimistický odhad a_{ij} znamená nejkratší možnou dobu trvání činnosti z uzlu i do uzlu j za ideálních podmínek.
- Nejpravděpodobnější odhad m_{ij} Představuje očekávaný odhad dob trvání činností za běžných podmínek.
- Pesimistický odhad b_{ij} Ztvárňuje nejhorší scénář, dobu trvání za nevyhovujících podmínek.

K aplikaci metody PERT je zapotřebí znát pesimistický, optimistický a nejpravděpodobnější odhad doby trvání každé činnosti. Dále je důležité vypočítat střední hodnotu doby trvání každé projektové činnosti společně s rozptylem. Vše nám ukazuje následující tabulka č. 7.

Tabulka 7: Aplikace PERT beta na projekt Modernizace trati ČB-Nemanic

Činnost	a_{ij}	m_{ij}	b_{ij}	t_{ij}	σ^2_{ij}
A Přípravné práce a úpravy pražských kolejí I.	34	34	35	34,17	0,03
B zdvoukolejnění plzeňské trati kol.c.901 a 902	133	150	182	152,50	24,17
C úpravy pražských kolejí II.	61	62	63	62,00	0,03
D Provizorní koleje P3 a P4	4	4	5	4,17	0,02
E Osob. nádraží II - severní zhlaví	93	95	102	95,83	1,06
F Osob. nádraží II - Ulice Rudolfovska 1	93	95	103	96,00	1,36
G Osob. nádraží II - jižní část	85	89	95	89,33	0,89
H Osob. nádraží II - Ulice Rudolfovska 1	87	90	97	90,67	1,11
I osobní nádraží III.	220	225	280	233,33	60,49
J Odstranění provizorní koleje P3	4	4	5	4,17	0,02
K kol.c.901a (stávající kol.c.1)	95	100	112	101,17	3,26
L osobní nádraží IV.	139	146	169	148,67	11,48
M Odstranění provizorní koleje P4	4	4	4	4,00	0,00
N kol.c.902a (stavající kol.c.2)	95	100	112	101,17	3,26
O Dokončovací práce	240	248	260	248,67	3,57

Zdroj: Správa železniční dopravní cesty ČR

Tabulka nám kromě názvu jednotlivých projektových činností, odhadů doby trvání, středních hodnot a jejich rozptylů, ukazuje také kritické činnosti. Jako kritické činnosti byly identifikovány A-B-F-H-L-O. Jejich posloupnosti tvoří kritickou cestu, na které je závislá realizace celého projektu.

Součtem středních hodnot kritických činností můžeme spočítat střední hodnotu doby trvání celého projektu. Součet rozptylů kritických činností napoví, jak se předpokládaná doba trvání celého projektu může změnit.

$$M = 34,17 + 152,50 + 96,00 + 90,67 + 148,67 + 248,67 = 770,67$$

$$\sigma_M = \sqrt{0,03 + 24,17 + 1,36 + 1,11 + 11,48 + 3,57} = 6,46$$

$$T = M \pm \sqrt{\sigma_M} = \langle 764,21; 777,13 \rangle$$

Celková předpokládaná doba trvání projektu vyšla na 770,67 dní. Směrodatná odchylka od této hodnoty e 6,46 dnů. Interval doby trvání projektu T je platný s pravděpodobností 68,15%.

4.2.3 Simulační model s využitím trojúhelníkového rozdělení

Uplatněním simulační techniky lze dosáhnout nezkreslených časových odhadů. Pomocí simulací není délka činností charakterizována pouze střední hodnotou, ale na základě náhodného výběru z příslušného rozdělení každé činnosti. Tento výběr je proveden jedenkrát pro každou projektovou činnost v každém kole simulace. Za každé kolo se ukládají nalezené časové charakteristiky, které jsou po ukončení simulace vyhodnoceny za účelem odhadu kritičnosti jednotlivých činností.

Každá projektová činnost je definována třemi odhady, pomocí trojúhelníkového rozdělení. Pomocí funkce RiskTriang si v aplikaci MS Office Excel je zpracována každá činnost A, B, C, D, E, F, G, H, O. Například máme-li v Excelu na listu s názvem vstup optimistický odhad v buňce G7, nejpravděpodobnější H5, a hodnota pesimistického odhadu je v buňce I5. Činnost A bude mít tvar =RiskTriang(vstup!G5;vstup!H5;vstup!I5). Na základě tohoto systému se bude postupovat u zbytku činností projektu. Všechny hodnoty jednotlivých činností jsou použity pro výpočet časů jednotlivých uzlů.

- **uzel 1:** Uzel 1 je počátek stavebních prací projektu. Bude mít hodnotu 0. Zapišeme do buňky B 19
- **uzel 2:** Je definován dobou trvání činnosti A, která je první činností realizace projektu. Začala v uzlu 1. V aplikaci Excel bude činnost A například v buňce B2. Hodnotu =B2 zapišeme do buňky B20
- **uzel 3:** Skládá se ze součtu dob trvání činností A a B, do buňky B 21 zapišeme =B20+B3

- **uzel 4:** Pomocí síťového grafu zjistíme, že uzel 4 se skládá z doby trvání uzlu 2 a doby trvání činnosti C. Pro uzel 4 je do buňky B22 zapsáno $=B20+B4$
- **uzel 5:** Do buňky B23 zapíšeme $=B20+B5$, opět je sečtena doba trvání uzlu a činnosti zjištěná ze síťového grafu
- **uzel 6:** Do buňky B24 je zapsáno $=B21+B6$.
- **uzel 7:** V buňce B25 je $=B21+B7$.
- **uzel 8:** Zápis v B26 je $=MAX((B24+B8);(B25+B9);(B22+B10))$. Podoba tohoto zápisu vyplývá z definice kritické cesty, je to cesta s nejdelším trváním. Do uzlu 8 se sbíhají 3 činnosti (jak je možné spatřit v síťovém grafu).
- **uzel 9:** V buňce B27 bude $=B23+B11$
- **uzel 10:** Buňka B28 je $=B23+B12$.
- **uzel 11:** V buňce B29 lze nalézt zápis ve tvaru $=MAX((B26+B13);(B27+B14);(B28+B15))$ s obdobným vysvětlením jaké je u uzlu 8.
- **uzel 12:** Postupujeme ve stejném principu s tím rozdílem, že u tohoto uzlu v buňce B30 je proveden zápis $=RiskOutput()+(B29+B16)$, tato buňka je nastavena jako výstup pro simulaci.

Na základě tohoto procesu máme data připravená pro simulace v programu @Risk.

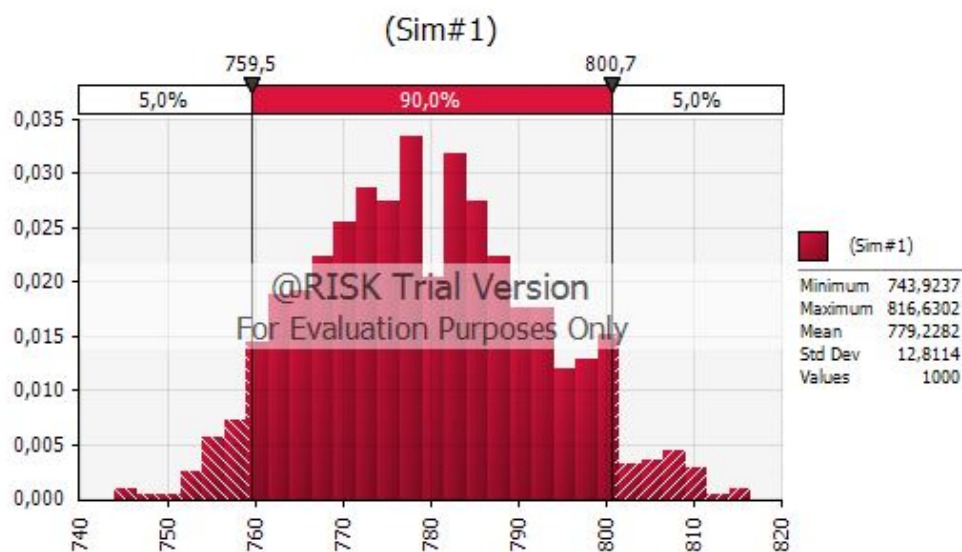
Řešení stochastického modelu pomocí simulace v programu @Risk

Simulace v @Risk zahrnují opakující se přepočítávání. Každé přepočítávání je iterací. Tento proces může pracovat se stovkami, nebo tisíci iteracemi, když je to nezbytné.

Spuštěním simulace je možné sledovat kalkulace různých nadefinovaných hodnot, konvergenci našeho výstupu, vidět graf a simulaci výsledků v reálném čase.

Čím více iterací je spuštěno, tím se výstup stává více „stabilnější“. Je vhodné nadefinovat větší počet interakcí, protože tak je zaručen spolehlivější výsledek. V případě projektu modernizace tratě proběhla 12 simulací s 1000 iteracemi.

Graf 2: Simulace doby trvání projektu Modernizace trati ČB-Nemanice v @RISK



Zdroj: @RISK

Po spuštění simulace zobrazí @Risk histogram s hodnotami (graf č. 2). @Risk uvedl informace o minimální, maximální a střední době trvání projektu. Minimální celková doba trvání projektu je 743,92 dní, maximální 816,63 dní a střední hodnota je 779,23 dní. Směrodatná odchylka je 12,81 dní.

Srovnání metody CPM a PERT metody

Metoda CPM je zástupcem deterministického modelu. Stanoví se kritická cesta, která je zároveň nejdelší cestou v projektu. Kritická cesta je pokládána za maximální čas realizace projektu. Dále jsou v síťovém diagramu vypočítány časové rezervy. Doba trvání projektu modernizace trati se předpokládá 763 dní.

Metoda PERT předpokládá doby trvání v β - rozdělení. Stanoví se tři odhady činností tvořící realizaci projektu (optimistický, nejpravděpodobnější a pesimistický odhad). Z odhadů je pro každou činnost v β -rozdělení vypočítána střední hodnota a rozptyl. Na stejném principu, jako u CPM metody se stanoví kritická cesta. Pro kritickou cestu se vypočte střední hodnota a rozptyl a určí se pravděpodobnost, v jakém intervalu může dojít k dokončení projektu. (Celková předpokládaná doba trvání projektu je 770,67 dní. Odchylka je 6,46 dnů. Projekt bude ukončen v intervalu od 764,21 do 777,13 dnů s pravděpodobností 68,15 %).

Obě metody využívají síťovou analýzu. CPM a PERT počítají kritickou cestu na stejném principu. (V případech obou metod byla stanovena stejná kritická cesta, kterou byla vyhodnocena časově nejdelší cesta v síťovém diagramu A-B-F-H-L-O). PERT metoda je za využití beta rozdělení a tří odhadů podrobnější než CPM. Předpokládaná doba ukončení projektu vyšla velmi podobně.

Srovnání simulačního modelu a PERT metody

PERT metoda analyzuje projekt Modernizace trati ČB-Nemanice za využití tří odhadů a výpočtů středních hodnot a rozptylů v β -rozdělení. Prostřednictvím metody PERT se o projektu z hlediska času lze dozvědět o předpokládané době trvání projektu (770,62dny) a dále o pravděpodobnosti v jakém časovém rozmezí lze projekt dokončit (764,21 do 777,13 dnů s pravděpodobností 68,15 %).

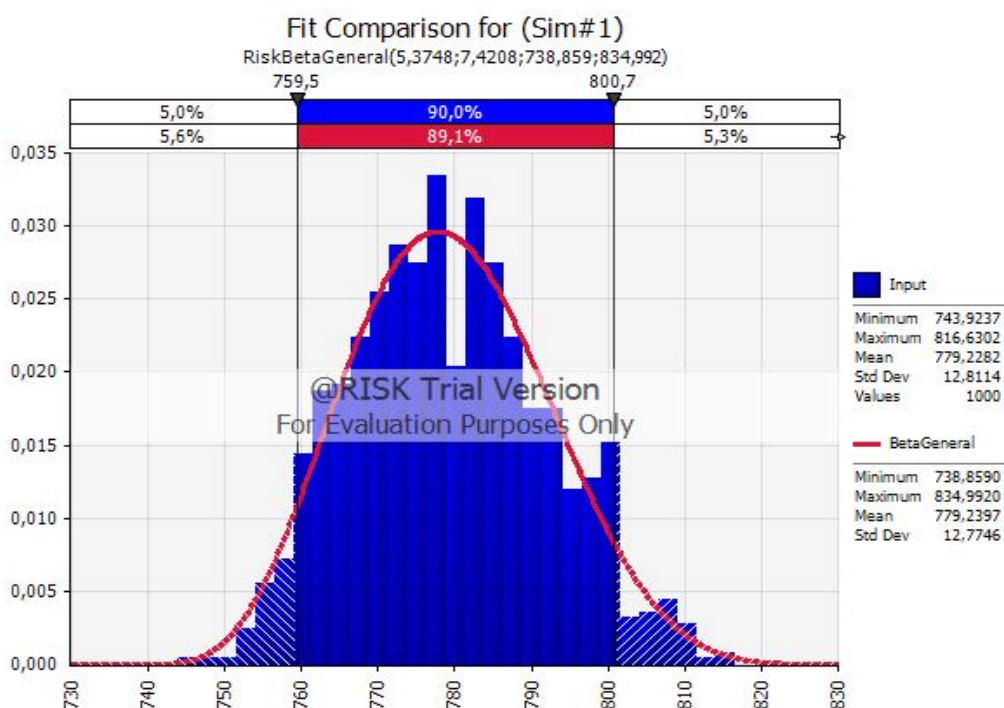
Simulační model provádí výpočty v každém kole simulace (1000 interací). Simulace informují o maximální, minimální, střední době trvání. Dále o směrodatné odchylce. (Min = 743,92 dní; max = 816,63; střední hodnota je 779,23 dní. Směrodatná odchylka = 12,81 dní).

Simulace se snaží díky velkému počtu výpočetních operací o co nejvěrnější zobrazení skutečnosti. Ve srovnání s PERT metodou nabídla nižší časy dokončení projektu. Vyšší časovou odchylku a střední hodnotu. Jinými slovy přesnější představu o časové realizaci projektu.

Aproximace teoretickým rozdělením

@Risk se snaží najít nejlepší shodu mezi hustotami pravděpodobnosti teoretického rozdělení. Program nepodává absolutní odpověď, spíše identifikuje rozdělení, které je nejpravděpodobněji odvozeno od vstupu. Program používá dvě metody. Pro vzorek dat jsou parametry rozdělení zjišťovány za použití odhadu maximální věrohodnosti. Pro hustotu a kumulativní údaje se používá metoda nejmenších čtverců.

Graf 3: Beta rozdělení doby projektu Modernizace trati ČB-Nemanice



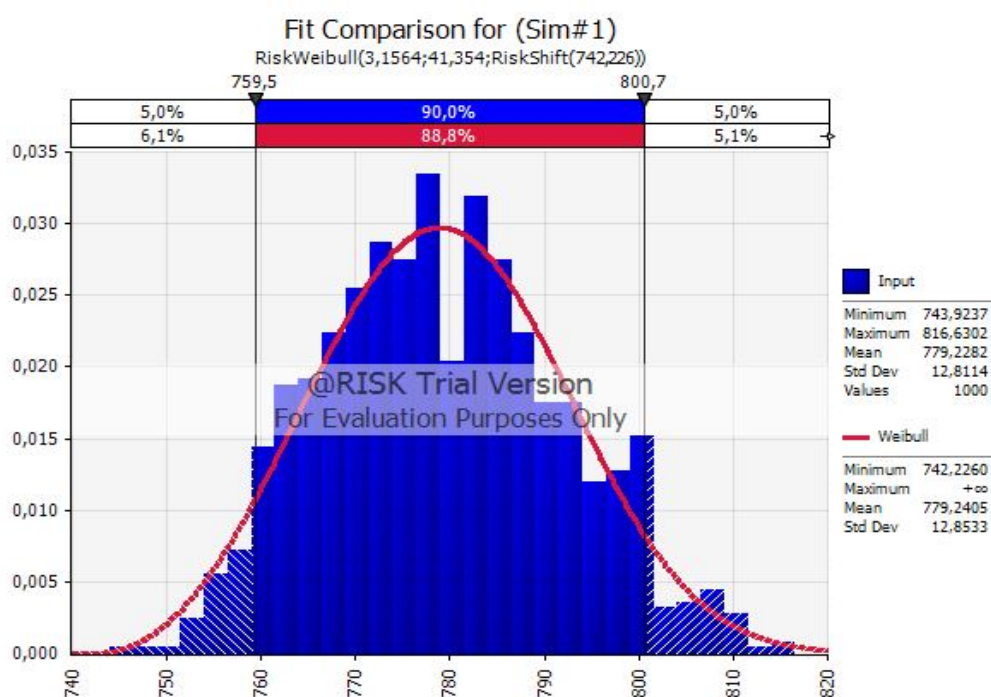
Zdroj: @RISK

@Risk aproximuje zobecněné β -rozdělení s parametry tvaru α 5,37, parametrem tvaru β 7,42, minimem 738,86 a maximem 834,99 (graf č. 3.). V programu jsou generovány doby trvání každé činnosti 1000 krát. V každém kole simulace je vypočítána celková doba trvání projektu. Jde o upravený histogram, pro srovnání s teoretickou hustotou pravděpodobnosti se relativní četnost dělí šířkou intervalu. Teoretické rozdělení je v grafu představováno červenou křivkou. Míru shody empirického rozdělení s teoretickým popisuje χ^2 hodnotou testové statistiky a p-value.

Pro každé kolo simulace je vypočítána hodnota celkové doby trvání projekt, hodnoty jsou představována modrými sloupci. Rozpětí celkových dob trvání projektu leží na osy x. Graf dále nabízí informaci s jakou pravděpodobností jednotlivé celkové doby trvání projektu nastanou. S pravděpodobností 90% může projekt trvat v rozsahu od 759,5 do 800,7 dní.

Test dobré shody jako druhé rozdělení nabídl Weibullovo rozdělení (v grafu č. 4).

Graf 4: Weibullovo rozdělení doby projektu Modernizace trati ČB-Nemanice



Zdroj: @RISK

Oba histogramy lze porovnat. Oba jsou protínány křivkou teoretického rozdělení. Při pohledu na osy četností histogramu s beta rozdělením si lze všimnout větší shody než u histogramu s Weibullovo rozdělením. Weibullovo rozdělení je aproximováno s parametrem tvaru α 3,16 a parametrem měřítka 41,35.

Výsledky testů shody podává @Risk prostřednictvím testové statistiky T. Hodnota testové statistiky definuje míru s jakou je teoretické rozdělení shodné s rozdělením. Simulační software vyhodnotil a seřadil celou škálu rozdělení podle míry shody s teoretickým rozdělením. Jako nejrelevantnější byly vybrány rozdělení normální a Weibullovo. V případě beta rozdělení je hodnota testové statistiky 19,35 v případě Weibullovo rozdělení 28,75. P-value β -rozdělení vyšla 0,89 a u Weibullovo rozdělení 0,43.

4.2.4 Zjištění kritičnosti činností

Zjištěním kritičnosti činností lze zjistit, které projektové činnosti jsou při cestě k realizaci projektu kritické. Jinými slovy s jakou pravděpodobností u jednotlivých projektových činností může dojít ke zpoždění jejich realizace.

Podstatou stanovení kritičnosti činností je zvětšení doby trvání jednotlivých činností o malou hodnotu Δt . Vytvoří se situace malé časové změny a zjišťuje se, zda takovéto prodloužení ovlivní dobu trvání celého projektu. Tuto situaci lze uskutečnit pomocí funkce RiskSimtable (1,2,3...n), n vyjadřuje počet všech činností v projektu. Při výpočtu se postupuje podobně, jako u výpočtu kritické cesty. Nejdříve se pomocí Δt prodlouží doba trvání konkrétní činnosti, potom se propočítají uzly projektu. Dostaneme dva výpočty celkové doby trvání, první s původní hodnotou (viz. výpočet kritické cesty) a druhý, kde je započítána časová změna Δt . Hodnoty uzlu 12 se od sebe odečtou. Výsledný rozdíl slouží jako výstup pro simulace.

Tabulka 8: Pravděpodobnost kritičnosti činností

Činnosti	Střední hodnota	Pravděpodobnost kritičnosti [%]
A	0,01	100
B	0,00993	99,3
C	0,00007	0,7
D	0	0
E	0,00299	29,9
F	0,00694	69,4
G	0,00299	29,9
H	0,00694	69,4
I	0,00007	0,7
J	0	0
K	0	0
L	0,01	100
M	0	0
N	0	0
O	0,01	100

Zdroj: @Risk

Tabulka podává informace o činnostech, které mohou mít největší vliv na dobu trvání projektu. Se 100% pravděpodobností jsou to kritické činnosti jsou A, L a O, B je kritická z 99,3%. U činností F a H jsou kritické ze 69,4 %. Hodnota u činnosti G a E udává kritičnost ve 29,9 % případů. U činnosti C a I byla na základě simulací zjištěna kritičnost 0,7 % případech. Naopak u činností D-J-K-M-N ani během simulací nenastane situace, že by mohly pro projekt znamenat riziku v jeho zpoždění. Smyslem těchto činností je zajistit neměnný provoz trati po celou dobu modernizace jednotlivých úseků. Jedná se o provizorní koleje. Délka provizorního zajištění provozu závisí na době trvání prací, které se na splnění projektu podílejí. U činností A a O je kritičnost zcela pochopitelně předpokládána, protože jejich hlavní náplní je u A – přípravné práce pro realizaci dalších činností a u O jsou to dokončovací práce. Z více než 69 % lze pokládat za rizikové činnosti A-B-F-H-L-O. Závěr měření je při naplňování cílů projektu věnovat pozornost kritickým činnostem a plánovitě předcházet jejich zpoždění.

Srovnání CPM, PERT a simulace kritičnosti činností

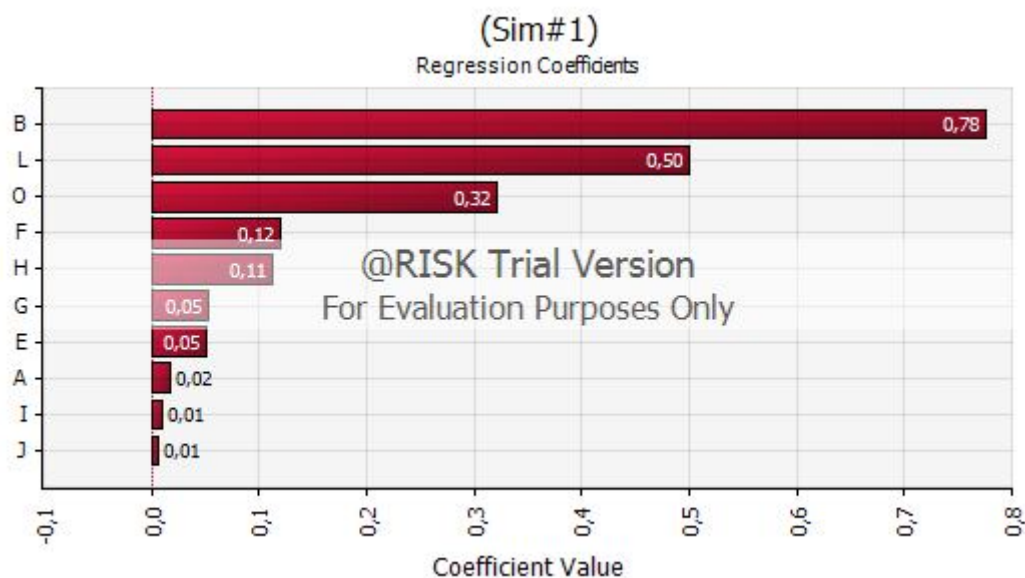
V prostředí deterministického modelu byla stanovena kritická cesta, jako nejdéle trvající cesta od počátečního do konečného uzlu síťového diagramu. Deterministický přístup zastoupen metodami CPM a stochastický metodou PERT definoval jako kritickou cestu A-B-F-H-L-O. Simulace podávají informace o míře pravděpodobnosti s jakou budou dílčí činnosti kritické v %. Dle simulací vyšly kritické činnosti A-B-F-H-L-O. Všechny jmenované metody určili kritické činnosti shodně.

Regresní analýza

Úlohou regresní analýzy je:

- Určit nejlepší regresní model: Stanovit rovnici, která vymeze závislost proměnných.
- Stanovit parametry modelu
- Uvést statistickou významnost: Přispěje-li nalezený model k zpřesnění odhadu závisle proměnné
- Interpretovat výsledky daného modelu z hlediska zadání

Graf 5: Regresní analýza



Zdroj: @Risk

Jedna z metod analýzy citlivosti – postupná regrese je pro přehlednost zobrazena v Tornado grafu. V grafu je znázorněna míra regresního koeficientu, a osy y řadící činnosti od nejvyšší hodnoty regresního koeficientu.

Hodnota regresního koeficientu uvádí míru závislosti doby trvání činnosti na celkové době trvání projektu. V případě projektu modernizace českobudějovické trati dosáhly nejvyššího koeficientu činnosti B - Zdvoukolejnění plzeňské trati kol.c.901 a 902, L - osobní nádraží IV, O - Dokončovací práce, F - Osob. nádraží II - Ulice Rudolfovská 1, H - Osob. nádraží II - Ulice Rudolfovská 1, G - Osob. nádraží II - jižní část, E - Osob. nádraží II - severní záhlaví a A - Přípravné práce a úpravy pražských kolejí I. Společným znakem všech výše zmíněných činností je, že představují riziko pro realizaci projektu. B-E-F-G-H a L jsou činnosti navazující, jejichž úkolem je zajistit plynulý provoz během stavebních prací na jednotlivých úsecích trati.

Nejvyšší koeficient regrese s hodnotou 0,776 říká, že změní-li se doba trvání činností B o jednu směrodatnou proměnnou, doba trvání celého projektu se změní o 0,776 směrodatné proměnné.

Tabulka 9: Tabulka regresní analýzy

Činnosti	koeficient regrese
B	0,776
L	0,501
O	0,321
F	0,120
H	0,113
G	0,053
E	0,050
A	0,018
I	0,011
J	0,006
C	0,000
D	0,000
K	0,000
M	0,000

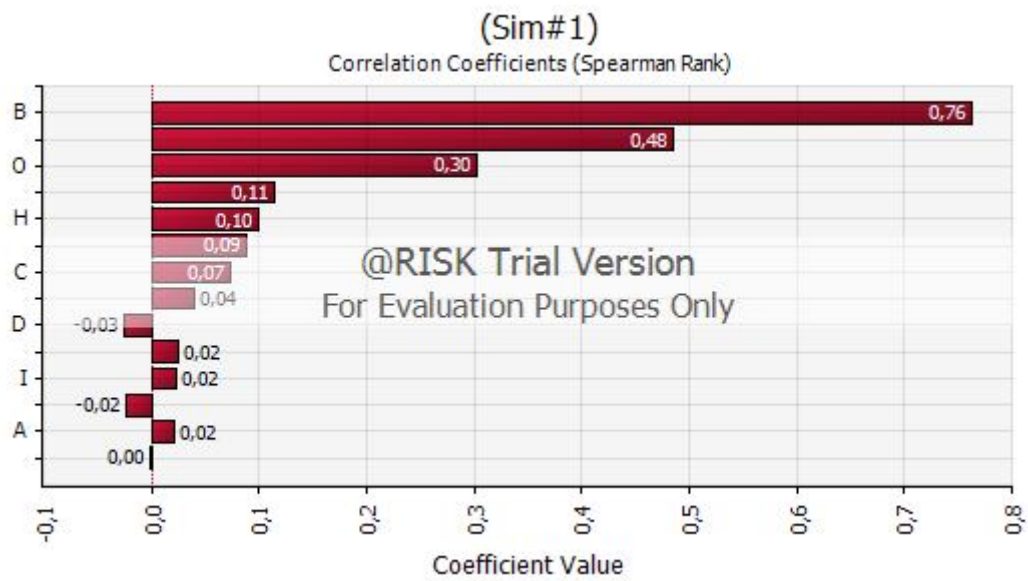
Zdroj: @Risk

Koeficient determinace vyšel 0,991. Hodnota menší než 60% dokazuje závislost délky projektu na činnostech.

Korelace

Korelace vyjadřuje vztah mezi dvěma veličinami. Znamená to, že při změně jedné veličiny dojde ke změně i druhé. Ukáže-li se mezi veličinami závislost, nelze jednoznačně určit, která veličina představuje příčinu a která následek. Následující graf č. 6 odpovídá, zda se ve sledovaném rozdělení vyskytuje korelace, či nikoliv.

Graf 6: Korelace



Zdroj: @Risk

Hodnoty korelace udávají vzájemný vztah mezi jednotlivými procesy, nebo veličinami. Nejvíce se hodnotě 1 přibližuje opět činnost B, jako u regresní analýzy.

Následující tabulka č. 10 podrobně zobrazuje hodnoty jednotlivých činností:

Tabulka 10: Tabulka korelace

Činnosti	koeficient korelace
B	0,762
L	0,485
O	0,303
F	0,114
H	0,100
G	0,024
E	0,089
A	0,021
I	0,024
J	0,041
C	0,024
D	-0,023
K	0,021
M	-0,001

Zdroj: @Risk

V tabulce jsou seřazeny činnosti dle hodnoty korelačního koeficientu. Nejblíže jedné dosahuje činnosti B zdvoukolejnění plzeňské trati kol. č. 901 a 902. Z pochopitelných důvodů ji lze považovat za rizikovou činnost, jelikož stojí na začátku realizace projektu a ostatní činnosti na ní navazují. Změní-li se délka jejího trvání, musí se zákonitě změnit termín dokončení ostatních činností a tedy i celého projektu. Rozdíl v postavení činností u korelace není tak markantní oproti regresi. V souvislosti s vyšší hodnot je důležité brát v úvahu i délku doby trvání činností.

V případě srovnání výsledku určení kritičnosti, regresní analýzy a korelace lze za kritické činnosti považovat B,L,O. Rozdílně je ve výsledcích uvedena činnost A, která dle tabulky určení kritičností vyšla kritická. Výsledky analýzy poskytují pro vedoucí pracovníky představu o časové náročnosti projektu. Podávají informace o možných rizicích, na které by se účastníci realizace projektu měli soustředit a snažit se předejít případným krizovým situacím. Časová analýza vypovídá také o míře reálného dosažení doby trvání projektu. Součástí vyhodnocení provedené časové analýzy rizik je definování její role v projektu. Níže uvedený text nabízí komplexnější pohled na problematiku.

4.3 Syntetická část

Výsledky výše uvedené simulace projektu by měly sloužit jako podkladové informace při rozhodování v prvních fázích projektu. Časová analýza by mohla být součástí studie proveditelnosti, která slouží jako zdroj postupů v dalších fázích řízení projektu. Z daných výsledků lze vyvodit závěr, že pro úspěšnou realizaci projektu Modernizace trati České Budějovice – Nemanice je důležité soustředit se na kritické činnosti A, B, L, a O. U těchto činností je značná pravděpodobnost rizika, které by mohlo znamenat nedodržení stanovených časových termínů prací. Prodloužení doby trvání projektu znamená pro zúčastněné strany (investora a zhotovitele) zvýšení nákladů.

Předtím, než se přistoupí k řešení, je důležité hlubší ponoření do problematiky. K tomu by mohlo pomoci podrobnější představení kritických činností.

Zůstaneme-li u rozdělení činností dle pracovních postupů, činnost A (Přípravné práce a úpravy pražských kolejí I.) se rozděluje na:

- Přípravné práce I. etapa (úsek severní zhlaví – st.7)
- Přípravné práce, opěry, kabelová lávka, kabelovou, základy TS
- Odstavné koleje, myčka, provizorní komunikace, spodek
- Přesun technologie St 4 do náhradních prostor – výluka SZZ
- Úpravy pražských kolejí I.

Činnost B (zdvoukolejnění plzeňské trati kol.c.901 a 902) představuje:

- Kolej č. 901 spodek
- Kol. č. 901 svršek
- Kol. č. 901 provizorní napojení
- Kol. č. 902 spodek, svršek
- Ulice Skuherského – uzavírka a stavební práce
- Ulice Pekárenská – uzavírka a stavební práce

Činnost L (Osobní nádraží IV) zahrnuje:

- Severní zhlaví kol. 2, 4, část 3. nástupiště
- Ulice Rudolfovská
- Jižní zhlaví

Činnost O (Dokončovací práce)

Návrh řešení

Ovlivnitelná rizika nelze zcela vyloučit, ale lze je minimalizovat. Za předpokladu, že doby trvání činností a jejich provozní náročnost byla definována ve studii proveditelnosti, byl vybrán vhodný zhotovitel a obě strany se v smlouvě o dílo zajistili proti riziku, může se přistoupit k realizační fázi.

Realizační fáze představuje rizika spojená s provozem staveniště. Základem řízení provozu je výkresová dokumentace, která slouží, jako přesný plán umístění objektů zařízení staveniště. Výkresová dokumentace představuje podmínky realizace projektu, na kterých se dohodl investor se zhotovitelem. Zhotovitel je povinen daný plán dodržovat. Po představení činností je možné říci, že mezi důležité objekty zařízení staveniště budou patřit:

- Přístupové a příjezdové komunikace a jejich údržba
- Umístění a údržba stavební strojů a zařízení (stroje na povrchové úpravy, stroje na zásobování, na úpravu materiálu...)

- Umístění a množství materiálu (ať už se bude jednat o materiál na provizorní koleje, kabelové spojení, materiál na výstavbu nástupišť, nebo komunikací...)
- Možné rezervy na parkování a skladování (související s rozlohou staveniště)
- Síla lidských zdrojů (dostatečný počet pracovních sil)
- Pravděpodobnost klesání podloží
- Bezpečnost provozu
- Dostatečné energetické zásobování
- Činnost ostražky

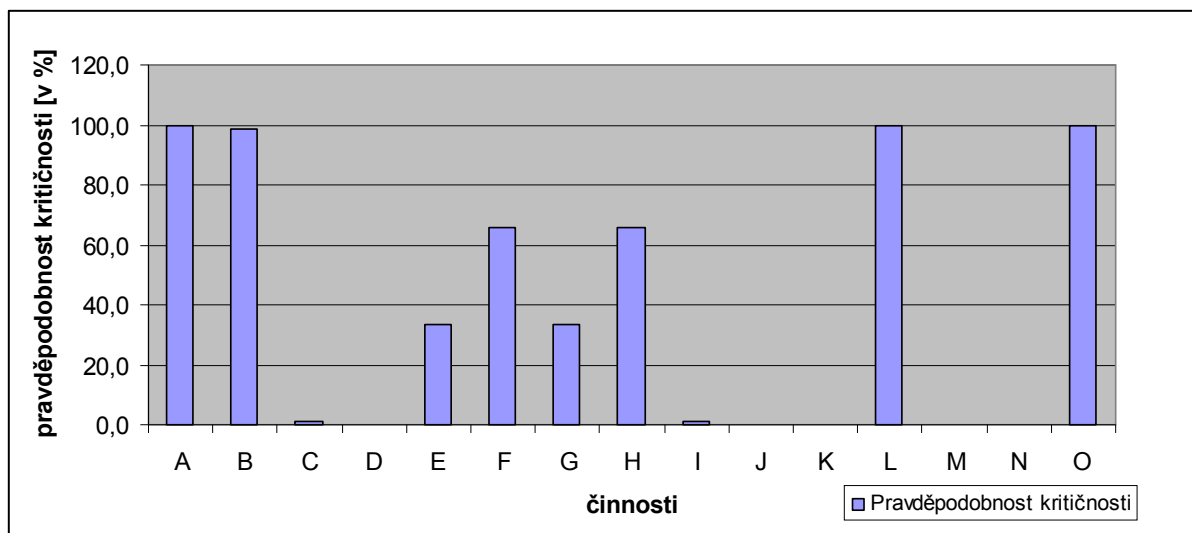
Závěrem realizační fáze stavby je vydáno kolaudační řízení, kdy je kontrolován postup zhotovitele dle plánů. K předání stavby vyzývá v dostatečném předstihu zhotovitel investora. I v případě vad, které nebrání užívání, přebírá investor stavbu a zavazuje dodavatele k úplnému dokončení. Poté jsou obě strany vyrovnány.

5. Závěr

Cílem diplomové práce je aplikace simulační techniky na projekt Modernizace trati České Budějovice – Nemanice. Cíl práce byl naplněn.

Projekt byl zhodnocen z hlediska časové analýzy. K provedeným simulacím byl použit simulační program @Risk. Pomocí simulací byly provedeny testy na shodu s teoretickým rozdělením, kde bylo dosaženo nepatrné odchylky teoretického rozdělení od vstupních dat. Z výsledných měření lze říci, že s nejméně 75% pravděpodobností a nejvíce s 99,9% se jedná o původní data. Dále byla stanovena kritičnost činností, kterou znázorňuje následující graf č. 7

Graf 7: Pravděpodobnost kritičnosti činností



Zdroj: @Risk

Z Tabulky č. 7 vyplývá, že s pravděpodobností 100 % budou kritické činnosti A, B, L, O. Výsledky regresní analýzy potvrzují výsledky kritičnosti činností. Doba realizace projektu je značně závislá na činnostech B-L-O. Koefficient regrese vypovídá o závislosti projektu na činnostech. Korelace informuje, že data nejsou na sobě závislá. V případě projektu Modernizace trati ČB byla hodnota koeficientu determinace relativně vysoká 98,87%,

Investiční náklady modernizace IV. železničního koridoru určuje usnesení vlády č. 885/2005. Celková výše investiční nákladů činí 41 925,4 mil Kč. Zdrojem financování jsou prostředky Státního fondu dopravní infrastruktury, dotace z fondů EU a úvěry se státní zárukou. Finanční podpora z fondů EU je realizována v rámci Operačního programu doprava. Řídícím orgánem je Ministerstvo dopravy ČR. Na projekt Modernizace trati České Budějovice – Nemanice je schválena investice ve výši 755 930 994 Kč, z toho 71,20 % je financováno ze zdrojů EU, tedy přibližně 633 373 000,- Kč.

Výše definovaná role časové analýzy v projektu má zásadní vliv na výši nákladů investora a zhotovitele. Jedná se o co nejvíce přesné odhadnutí doby trvání projektu za využití potenciálu kvantitativních metod. Jakákoliv změna v časovém harmonogramu může znamenat narušení provozu staveniště. Náklady způsobené touto změnou lze těžko odhadnout díky velkému počtu zapojených subjektů. Investiční náklady zahrnují nejen náklady na výstavbu železniční dopravní cesty, ale například i náklady na opatření proti negativním vlivům železnice za životní prostředí. Pro představu tyto náklady dosahují v průměru výše 13% z celkového objemu investic. V těchto investičních projektech může změna časového plánu znamenat náklady i ve výši několika desítek až stovek milionů korun. Simulační techniky znamenají pro projekt ekonomický přínos.

V práci bylo předvedeno užití simulačních technik v oblasti projektového managementu. Výhodou simulace je napodobení nějaké reálné věci, stavu, procesu. Samotný akt simulace představuje odhalení zákonitostí, vztahů, chování vybraných systémů. Simulace pomáhá při rozhodování managementu získat objektivnější pohled na danou problematiku. Při současném vývoji budou lidé na vedoucích pozicích hledat stále efektivnější přístupy a simulační techniky by mohly výrazně přispět pro jejich naplňování.

6. Summary

This Diploma thesis has been focused on using of simulation in project management. In the practical part of thesis was introduced to the essence of network analysis, mathematical methods in project management, modeling, simulation, and simulation software.

Then proceeded to analytical and synthetic parts. The specific project that was analyzed was The project of modernization of the railway line ČB - Nemanice. Simulation program used was chosen @Risk. First, put together a network diagram and determine the duration of each activity. Then in Excel, all the calculations, which passed as an output for @Risk. Based on the simulation outputs were made.

Simulation results provide information on Fitted distribution, regression, correlation, probability determination that the activities will be critical. The measurement results determine a small deviation between the input values and fitting distribution. Criticality of activities identified certain activities as highly critical. Regression to determine the dependence of activity durations and the total duration of the project. The results did not confirm the correlation between data dependence. Multicollinearity is not present in the project.

Risk management is to set conditions in each phase of the project. Initially, a feasibility study, which should help in further decision making. Also important are the terms of the contract between the investor and the contractor. These podmínky determine the liability risks. Finally, the operation depends on the documentation site. The aim is to ensure smooth operation.

At the conclusion we can say that the role of simulation techniques in project management has great potential. To reduce costs, effective management and competitiveness, it is important to look for new ways.

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Obrázek 1: Tři pilíře výstavbového projektu	6
Obrázek 2: Subjekty vystupující ve stavebních projektech	10
Obrázek 3: Etapy projektu v závislosti na čase	11
Obrázek 4: Řízení rizik	12
Obrázek 5: Obecná rizika stavebních projektů	13
Obrázek 6: Dělení matematických modelů	20
Obrázek 7: Vztahy mezi uzly	25
Obrázek 8: Síťový diagram projektu Modernizace Trati ČB - Nemanice	49
Obrázek 9: Síťový diagram projektu Modernizace trati ČB-Nemanice po aplikaci metody CPM	52
Graf 1: Investice do dopravní infrastruktury, v mil Kč	48
Graf 2: Simulace doby trvání projektu Modernizace trati ČB-Nemanice v @RISK	57
Graf 3: Beta rozdělení doby projektu Modernizace trati ČB-Nemanice	59
Graf 4: Weibullovo rozdělení doby projektu Modernizace trati ČB-Nemanice	60
Graf 5: Regresní analýza	64
Graf 6: Korelace	66
Graf 7: Pravděpodobnost kritičnosti činností	71
Tabulka 1: Základní údaje	47
Tabulka 2: Technická specifikace	47
Tabulka 3: Označení činností projektu Modernizace trati ČB-Nemanice	50
Tabulka 4: Projekt Modernizace trati ČB-Nemanice pro aplikaci CPM	51
Tabulka 5: Cesty v síťovém grafu	52
Tabulka 6: Odhad dob trvání jednotlivých činností projektu, ve dnech	53
Tabulka 7: Aplikace PERT beta na projekt Modernizace trati ČB-Nemanice	54
Tabulka 8: Pravděpodobnost kritičnosti činností	62
Tabulka 9: Tabulka regresní analýzy	65
Tabulka 10: Tabulka korelace	67

7. Přehled použité literatury

1. BERKA, Milan. *Operační výzkum*. 2. vyd. Brno: VUT, 1991. ISBN 8021403462.
2. DLOUHÝ, Martin et al. *Simulace pro ekonomy*. 1. vyd. Praha: Oeconomica, 2005. ISBN 8024509733.
3. DOLEŽAL, Jan et al. *Projektový management podle IPMA*. Praha: Grada Publishing a. s., 2009. ISBN 978-80-247-2848-3.
4. DUCHOŇ, Bedřich. *Inženýrská ekonomika*. 1. vyd. Praha: C. H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-763-0.
5. GIBILISCO, Stan. *Statistika*. Brno: Computer Press a. s., 2004. ISBN 978-80-251-2465-9.
6. GROSS, Ivan. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0421-8.
7. HABART, Pavel. Modernizace trati České Budějovice - Nemanice I. Správa železniční a dopravní sítě [online] 28.4.2011 [cit. 2012-4-20] Dostupné z <http://www.szdc.cz/pro-media/tiskove-zpravy/budejovice-nemanice.html>
8. KORECKÝ, Michal a Václav TRKOVSKÝ. *Management rizik projektů: se zaměřením na projekty v průmyslových podnicích*. Praha: Grada Publishing a. s., 2011. ISBN 978-80-247-2848-3.
9. KRÄMER, Walter. *Statistika do vesty*. Praha: Barone a. s., 2005. ISBN 80-7214-848-6

10. LOFFELMAN, J. Trendy v plánování a řízení výroby. IT Systems [on line]. 2004
11. MACHEK, Josef a Jiří LIKEŠ. *Matematická statistika 2*. Praha: SNTL, 1998. ISBN 80-245-003-1.
12. NĚMEC, Vladimír. *Projektový management*. Praha: Grada Publishing a. s., 2002. ISBN 8024703920.
13. NOVOTNÝ, Miroslav. *Stavebnictví: Riziková oblast podnikání*. Stavitel č. 9. Praha: Economia a. s., 2002. ISBN 1210-4825
14. OLERÍNY, Milan. *Řízení stavebních projektů: Claimový management*. Praha: C. H. Beck, 2005. ISBN 80-7179-888-6.7179-888-6.
15. PALISADE CORPORATION. *@RISK: Advanced risk analysis for spreadsheets*. Newfield, NY USA, 2002.
16. PLITCHARD, Carl L. *Risk Management: Concepts and Guidance*. 4. vyd. Virginia: Esi International, 2010. ISBN 1890367559.
17. TICHÝ, Milík. *Projekty a zakázky ve výstavbě*. Praha: C.H.Beck, 2008. ISBN 978-80-7400-009-6.
18. UNČOVSKÝ, Ladislav et al. *Modely sieťovej analýzy*. Bratislava: Alfa, 1991. ISBN 80-05-00812-0.
19. VANĚČKOVÁ, Eva. *Ekonomicko-matematické metody: Lineární programování: síťová analýza*. JČU ZF České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1996. ISBN 8070401877.

20. Začínáme: Základní informace o aplikaci Microsoft Project. *Office.microsoft.com* [online]. 2013 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://office.microsoft.com/cs-cz/project-help/zaciname-zakladni-informace-o-aplikaci-microsoft-project-HA010355887.aspx>

21. ZÍSKAL, Jan a Jaroslav HAVLÍČEK. *Ekonomicko matematické metody I.: Studijní texty pro distanční studium*. 4. vyd. ČZU PEF Praha: Credit, 2001. ISBN 8021307617.